



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SILLA BIPEDESTADORA PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN SUS EXTREMIDADES INFERIORES

LUIS EDUARDO AYALA ROJAS

Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAGÍSTER EN DISEÑO MECÁNICO

Riobamba – Ecuador

Agosto 2021

©2021, Luis Eduardo Ayala Rojas

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, titulado **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SILLA BIPEDESTADORA PARA PERSONAS CON DISCAPACIDADES EN SUS EXTREMIDADES INFERIORES**, de responsabilidad del señor Luis Eduardo Ayala Rojas ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

Ing. Luis Eduardo Hidalgo Almeida; PhD

PRESIDENTE

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba - Ecuador
Fundada en 1972

Ing.; Luis Santiago Choto Chariguaman; Mag.

DIRECTOR



Firmado electrónicamente por:
**LUIS SANTIAGO
CHOTO
CHARIGUAMAN**

Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla; Mag.

MIEMBRO



Firmado electrónicamente por:
**EDWIN
RODOLFO POZO**

Ing. Miguel Sócrates Aquino Arroba; Mag.

MIEMBRO



Firmado electrónicamente por:
**SOCRATES MIGUEL
AQUINO ARROBA**

Riobamba, agosto 2021

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, LUIS EDUARDO AYALA ROJAS, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



LUIS EDUARDO AYALA ROJAS

C.I. 0604118612

Yo, LUIS EDUARDO AYALA ROJAS, declaro que el presente **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.



LUIS EDUARDO AYALA ROJAS

C.I. 0604118612

DEDICATORIA

En primer lugar, al Divino niño Jesús por regalarme la vida.

Con mucho cariño principalmente a mi Madre, mi esposa Elizeth y a mis adorados hijos(as) que me apoyaron incondicionalmente en cada momento, gracias por sus consejos que fortalecieron mi espíritu para cada día luchar por conseguir mis sueños.

A mi hermana quien con su cariño, paciencia y esfuerzo me ha permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

Luis Eduardo Ayala Rojas

AGRADECIMIENTO

Deseo mencionar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes. Mi sincero y fraterno agradecimiento a todas las autoridades del IPEC, por confiar en mí, abrimme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo. De la misma manera mis agradecimientos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a mis profesores en especial a mi Director Ing. Santiago Choto a mis tutores Ing. Miguel Aquino e igual mi agradecimiento para el Ing. Edwin Pozo, por sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv

CAPÍTULO I

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Planteamiento del problema	1
1.2.	Situación problemática.....	1
1.3.	Formulación del problema.....	2
1.4.	Preguntas directrices o específicas de la investigación	2
1.5.	Justificación de la investigación.....	3
1.6.	Objetivo general de investigación.....	3
1.7.	Objetivos específicos de investigación.....	3
1.8.	Hipótesis.....	4
1.8.1.	<i>Hipótesis general</i>	4
1.8.2.	<i>Hipótesis específicas</i>	4

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	5
2.1.	Antecedentes del problema	5
2.2.	Bases teóricas	5
2.2.1.	<i>Discapacidad</i>	5
2.2.2.	<i>Discapacidad motriz</i>	6
2.2.3.	<i>Paraplejía.</i>	6
2.2.4.	<i>Rehabilitación</i>	7
2.2.5.	<i>Antropometría</i>	7
2.2.6.	<i>Ergonomía</i>	9
2.2.7.	<i>Espacio disponible</i>	10

2.2.8.	<i>Silla bipedestadora</i>	10
2.2.8.1.	<i>Tipos de sillas bipedestadoras</i>	11
2.2.8.2.	<i>Componentes principales de una silla de bipedestación</i>	14
2.2.9.	<i>Sistema de verticalización para la bipedestación</i>	22
2.2.10.	<i>Actuadores</i>	23
2.2.11.	<i>Centro de gravedad</i>	24
2.2.12.	<i>Dinámica</i>	29
2.2.13.	<i>Esfuerzo</i>	29
2.2.14.	<i>Esfuerzos uniformes distribuidos</i>	29
2.2.15.	<i>Resistencia estática</i>	30
2.2.16.	<i>Teorías de fallas bajo cargas estáticas</i>	30
2.2.17.	<i>Energía de distorsión (ED)</i>	31
2.2.18.	<i>Esfuerzo de Von Mises</i>	31
2.2.19.	<i>Mohr Coulomb dúctil (CMD)</i>	32
2.2.20.	<i>Peso máximo de una persona (PM)</i>	32
2.2.21.	<i>Peso requerido (PR)</i>	32
2.2.22.	<i>Longitud crítica (Lc)</i>	33
2.2.23.	<i>Carga distribuida (q)</i>	33
2.2.24.	<i>Factor de diseño (nd)</i>	33
2.2.25.	<i>Límite de fluencia:</i>	34
2.2.26.	<i>Momento crítico</i>	34
2.2.27.	<i>Momento crítico para vigas en voladizo</i>	34
2.2.28.	<i>Esfuerzo permisible (Fb)</i>	35
2.2.29.	<i>Módulo de sección (S)</i>	35
2.2.30.	<i>Validación de secciones</i>	36
2.2.31.	<i>Relación de esbeltez</i>	36
2.2.32.	<i>Radio de giro</i>	37
2.2.33.	<i>Sección admisible</i>	38
2.2.34.	<i>Carga requerida (Pc)</i>	38

2.2.35.	<i>Tintas o líquidos penetrantes (PT)</i>	39
---------	---	----

CAPÍTULO III

3.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	40
3.1.	Métodos de investigación	40
3.1.1.	<i>Bocetos preliminares de diseño</i>	40
3.1.2.	<i>Determinación del centro de gravedad respecto al sistema de referencia</i>	43
3.1.3.	<i>Modelado del prototipo</i>	44
3.1.3.1.	<i>Diseño mecánico de los elementos de la estructura</i>	47
3.1.4.	<i>Análisis estructural</i>	67
3.1.5.	<i>Selección de elementos y accesorios para la manufactura de la silla</i>	70
3.1.6.	<i>Modelo matemático</i>	75
3.1.7.	<i>Manufactura</i>	85
3.1.7.1.	<i>Ensayo de tintas penetrantes para el análisis de soldadura</i>	87

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	90
4.1.	Resultados	90
4.1.1.	<i>Validación del análisis estructural</i>	90
4.1.2.	<i>Resultados del ensayo de tintas penetrantes</i>	93
4.1.3.	<i>Resultados de la manufactura</i>	94
4.2.	Discusión	97

CAPÍTULO V

5.	PROPUESTA	98
5.1.	Análisis económico	98
	CONCLUSIONES	102
	RECOMENDACIONES	103

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Grupos musculares afectados por discapacidad motriz	6
Tabla 2-2:	Dimensiones del cuerpo humano según DIN 33402 parte 2 junio 1981	8
Tabla 3-2:	Valores promedios en posición de sentado de hombres y mujeres	9
Tabla 4-2:	Características de las sillas bipedestadoras.....	13
Tabla 5-2:	Obtencion del centro de gravedad por el metodo de segmentos.....	27
Tabla 6-2:	Esfuerzos permisibles de columnas ($F_y = 46000psi$).....	35
Tabla 7-2:	Longitudes efectivas de columnas.....	37
Tabla 1-3:	Métodos de investigación	40
Tabla 2-3:	Parámetros de selección del actuador	42
Tabla 3-3:	Valoración establecida.....	43
Tabla 4-3:	Especificaciones generales del tubo redondo	51
Tabla 5-3:	Características del tubo redondo $\frac{3}{4}$ ”	53
Tabla 6-3:	Obtención del centro de gravedad por el método de segmentos.....	54
Tabla 7-3:	Especificaciones generales del tubo rectangular	56
Tabla 8-3:	Cálculos resumidos para la selección del perfil tubular redondo	60
Tabla 9-3:	Características del tubo redondo $\frac{3}{4}$ ”	60
Tabla 10-3:	Especificaciones del tubo redondo	62
Tabla 11-3:	Características del tubo redondo $\frac{3}{4}$ ”	62
Tabla 12-3:	Resultados resumidos correspondientes al diseño de columnas.....	65
Tabla 13-3:	Especificaciones del tubo redondo	65
Tabla 14-3:	Características del tubo.....	65
Tabla 15-3:	Especificaciones del tubo	67
Tabla 16-3:	Coordenadas	78
Tabla 17-3:	Coordenadas del centro de masa	79
Tabla 18-3:	Parámetros de selección	82
Tabla 19-3:	Tabla de valoración	83
Tabla 20-3:	Parámetros para la selección del freno	83
Tabla 21-3:	Valoración de parámetros.....	84
Tabla 22-3:	Parámetros de selección para las correas de seguridad	84
Tabla 23-3:	Valoración de parámetros para correas de seguridad	85
Tabla 24-3:	Especificaciones del ensayo de tintas penetrantes.....	87
Tabla 25-3:	Puntos inspeccionados.....	88
Tabla 1-4:	Resultados obtenidos	93
Tabla 1-5:	Costes de los materiales para la carrocería	98
Tabla 2-5:	Costes de los accesorios y tapicería.....	98
Tabla 3-5:	Costes por mano de obra	99
Tabla 4-5:	Análisis de costes de manufactura.....	99
Tabla 5-5:	Manual de usuario y mantenimiento	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Paraplejia	6
Figura 2-2: Dimensiones del cuerpo humano	8
Figura 3-2: Posturas correctas en la silla de ruedas	10
Figura 4-2: Espacio disponible para la movilidad de una silla	10
Figura 5-2: Silla bipedestadora Invacare Action Vertic	11
Figura 6-2: Quickie Q700M-UP	12
Figura 7-2: Invacare Dragon Vertic.....	13
Figura 8-2: Beneficios de la bipedestación.....	14
Figura 9-2: Silla bipedestadora	14
Figura 10-2: Cojines anti escaras.....	15
Figura 11-2: Cojines anti escaras de gel	15
Figura 12-2: Goma de poliuretano.....	16
Figura 13-2: Tipos de apoya brazos.....	17
Figura 14-2: Materiales para tapizados.....	17
Figura 15-2: Tipos de llantas para silla de ruedas.....	18
Figura 16-2: Tipos de frenos para silla de ruedas	20
Figura 17-2: Cinturón Reactiv	20
Figura 18-2: Cinturón de transferencia Medicupola.....	21
Figura 19-2: Arnés posicionador de pies	21
Figura 20-2: Estabilizador de caderas de dos puntos.....	22
Figura 21-2: Arnés de seguridad para piernas	22
Figura 22-2: Cinemática de un mecanismo bipedestador	23
Figura 23-2: Gato mecánico eléctrico y actuador líneal	24
Figura 24-2: Centro de gravedad de una placa	24
Figura 25-2: Centro de gravedad del cuerpo humano.....	25
Figura 26-2: Línea de gravedad	25
Figura 27-2: Variación del centro de gravedad de acuerdo a la posición del cuerpo	26
Figura 28-2: Centro de gravedad del conjunto silla-usuario.....	26
Figura 29-2: Segmentación del cuerpo para centros de gravedad	27
Figura 30-2: Esquema de las fuerzas verticales en los neumáticos	28
Figura 31-2: Descripción del ensayo y kit de tintas penetrantes.....	39
Figura 1-3: Boceto preliminar de la silla bipedestadora	41
Figura 2-3: Análisis del mecanismo bipedestador y actuadores	42
Figura 3-3: Segmentación del cuerpo y centro de gravedad.....	44
Figura 4-3: Silla bipedestadora	45
Figura 5-3: Determinación del centro de gravedad del conjunto silla – usuario	46
Figura 6-3: Sistemas mecánicos de la estructura	47
Figura 7-3: Consideraciones para el diseño	48
Figura 8-3: Estructura del asiento	49
Figura 9-3: Reposo brazos	52
Figura 10-3: D.C.L Reposo brazos	52
Figura 11-3: Espaldar	54
Figura 12-3: D.C.L. de la estructura del espaldar	55
Figura 13-3: Vigas longitudinales.....	57
Figura 14-3: Vigas transversales superiores	58
Figura 15-3: Vigas longitudinales inferiores	58
Figura 16-3: Vigas transversales inferiores	59
Figura 17-3: D.C.L Correspondiente a las vigas longitudinales y transversales	60
Figura 18-3: Columnas delanteras	61
Figura 19-3: Columnas posteriores.....	63
Figura 20-3: Longitud del reposa pies	64
Figura 21-3: D.C.L de la estructura reposa pies	65

Figura 22-3: Vigas longitudinales de la base de bipedestación	66
Figura 23-3: Pasos para el análisis de la estructura	67
Figura 24-3: Selección del material	68
Figura 25-3: Condiciones estáticas	68
Figura 26-3: Aplicación de la fuerza en la estructura	68
Figura 27-3: Refinamiento de malla	69
Figura 28-3: Aplicación de fuerzas.....	70
Figura 29-3: Análisis del mecanismo bipedestador	71
Figura 30-3: Detalles del mecanismo bipedestador	71
Figura 31-3: Diagrama de fuerzas	72
Figura 32-3: DCL3	72
Figura 33-3: Diagrama de fuerzas actuantes.....	73
Figura 34-3: DCL6	73
Figura 35-3: DCL7	74
Figura 36-3: Análisis del mecanismo bipedestador.....	74
Figura 37-3: Diagramas para conjunto en vacío	75
Figura 38-3: Diagramas con cargas de 100Kg.....	76
Figura 39-3: Diagrama de velocidad vs tiempo.....	77
Figura 40-3: Diagramas de posición (X, Y, Z) del centro de masa del asiento	78
Figura 41-3: Diagramas de coordenadas del centro de masa del espaldar.....	79
Figura 42-3: Reacción vs tiempo del contacto de la base de asiento-conjunto carga 100kg.	80
Figura 43-3: Curvas de posición.....	80
Figura 44-3: Curvas de velocidad.....	81
Figura 45-3: Curvas de aceleración	81
Figura 46-3: Curvas de reacciones y fuerza.....	82
Figura 47-3: Fases de manufactura.....	86
Figura 48-3: Kit de tintas y detalle de la aplicación	88
Figura 1-4: Deformación total	90
Figura 2-4: Equivalente de Von Mises	90
Figura 3-4: Factor de seguridad	91
Figura 4-4: Deformaciones totales.....	91
Figura 5-4: Equivalente de Von Mises	92
Figura 6-4: Factor de seguridad	92
Figura 7-4: Silla bipedestadora obtenida	95
Figura 8-4: Detalles de la silla bipedestadora	96

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. Análisis de material en CESEDUPACK_

ANEXO B. Tubo estructural rectangular

ANEXO C. Tubo mecánico redondo

ANEXO D. Gato mecánico eléctrico

ANEXO E. Costes de tubería

ANEXO F. Encuesta realizada

ANEXO G. Tabulación de los 200 datos obtenidos en la encuesta

ANEXO H. Tiempo de producción

ANEXO I. Garantía del producto

ANEXO J. Datos obtenidos en las pruebas de funcionamiento

ANEXO K. Análisis de soldadura para las juntas de la estructura

ÍNDICE DE ABREVIACIONES

CONADIS	Consejo Nacional de Discapacidades
OMS	Organización Mundial de la Salud
MEF	Método de Elementos Finitos
CDG	Centro de Gravedad
AISC	Instituto Americano de Construcción de Acero
DCL	Diagrama de Cuerpo Libre
CAD	Diseño Asistido por Computadora
CAM	Manufactura Asistida por Computadora
CAE	Ingeniería Asistida por Computadora
CRIE	Centro de Rehabilitación Integral y Especializado
DGEE	Dirección General de Educación Especial
DIN	Deutsches Institut Für (Instituto Alemán para la Normalización)
IVA	Impuesto Sobre el Valor Añadido
MDF	Medium Density Fibreboard (Tablero de Fibras de Densidad Media)
ECM	Esfuerzo Cortante Máximo

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo el diseño y construcción de una silla bipedestadora para personas con discapacidades en sus extremidades inferiores ya que en el Ecuador según el Consejo Nacional de Discapacidades (CONADIS) existe un 25% de personas con discapacidad en las extremidades inferiores, por lo que las personas pasan la mayor parte del tiempo en posición de sentado esto resulta dañino para la salud, ya que origina una serie de problemas como formación de escaras (llagas), mala circulación sanguínea, envejecimiento paulatino, entre otras, causa por la que recurren a la adquisición costosa de sillas bipedestadoras importadas, en vista de esto el presente trabajo, aportó con un diseño nacional y de bajo coste, por lo que para conseguir esto, se efectuaron primeramente bocetos para tener una idea clara del funcionamiento y modelo adecuado, una vez reconocido esto se digitalizaron todos los componentes mediante el software SolidWorks, mismos que fueron validados en software ANSYS, posteriormente se realizó el análisis de fuerza, posición, velocidad y aceleración en el software ADAMS, del cual se determinó que es necesario una fuerza mínima de 1475.88N para elevar al conjunto usuario, asiento, espaldar y apoya cabeza, por lo que en base a dicha fuerza se seleccionó el gato eléctrico mecánico, una vez terminada esta etapa se procedió a la manufactura de la silla cortando y soldando los tubos, la calidad de la soldadura de la carrocería fue evaluada mediante el ensayo de tintas penetrantes, mismo que arrojó un resultado aceptable en los cuarenta y un cordones, validado esto el paso final fue montar todos los de accesorios como frenos, cinturones de seguridad y tapizado, hasta finalmente obtener por completo la silla bipedestadora, la cual al ser sometida a múltiples pruebas de funcionamiento presento excelentes resultados de funcionamiento.

PALABRAS CLAVE: <DISCAPACIDAD>, <CIRCULACIÓN SANGUÍNEA>, <EXTREMIDADES INFERIORES>, <CARROCERÍA >, <TINTAS PENETRANTES>, <SILLA BIPEDESTADORA >

**LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS**

Firmado digitalmente por
LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Nombre de reconocimiento
(DN): c=EC, l=RIOBAMBA,
serialNumber=0602766974,
cn=LUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS
Fecha: 2021.06.14 09:14:47
-05'00'



0078-DBRAI-UPT-IPEC-2021

ABSTRACT

The objective of this research is the design and construction of a standing chair for people with disabilities in their lower extremities, since in Ecuador, according to the National Council for Disabilities (CONADIS), there is 25% of people with disabilities in the lower extremities, for what people spend most of the time in a sitting position this is harmful to health, since it causes a series of problems such as bedsores (sores), poor blood circulation, gradual aging, among others, which is why They resort to the expensive acquisition of imported standing chairs, in view of this the present work, contributed with a national and low-cost design, so to achieve this, sketches were first made to have a clear idea of the operation and suitable model, Once this was recognized, all the components were digitized using SolidWorks software, which were validated in software ANSYS, subsequently the analysis of force, position, velocity and acceleration was performed in the ADAMS software, from which it was determined that a minimum force of 1475.88N is necessary to lift the user, seat, back and headrest assembly, therefore Based on this force, the mechanical electric jack was selected, once this stage was finished, the chair was manufactured by cutting and welding the tubes, the quality of the bodywork welding was evaluated by the penetrating ink test, same as yielded an acceptable result in the forty-one laces, once this was validated, the final step was to assemble all the accessories such as brakes, seat belts and upholstery, until finally obtaining the complete standing chair, which when subjected to multiple functional tests I present excellent operating results.

KEYWORDS: <DISABILITY>, <BLOOD CIRCULATION>, <LOWER LIMBS>, <BODYWORK>, <PENETRANT INKS>, <STANDING CHAIR>

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador existe un 25% de personas con discapacidad motriz en las extremidades inferiores, lo que implica una serie de factores como formación de escaras, mala circulación, sanguínea, envejecimiento prematuro de dichas extremidades por falta de movimiento por lo cual, el presente trabajo de fin de master tiene por objetivo diseñar una silla bipedestadora, haciendo uso de las herramientas CAD, CAM donde se modeló y analizo los prototipos como también el funcionamiento, para en base a esto realizar una selección del mecanismo adecuado y una vez obtenido esto construir empleando materia prima nacional, con la finalidad de reducir costos ya que importar una silla de este tipo resulta costoso y aún más para las personas de escasos recursos económicos, la rehabilitación ayuda al usuario a fortalecerse física y psicológicamente elevando el autoestima, mejorando la circulación sanguínea, evitando la formación de escaras así como también el deterioro paulatino de sus extremidades inmóviles.

1.1. Planteamiento del problema

Las sillas bipedestadoras que se importan al país, están diseñadas con medidas antropométricas de personas europeas o norteamericanas, las cuáles son diferentes a las medidas antropométricas de una persona latinoamericana.

El alto costo que implica adquirir una silla bipedestadora, hace que su uso sea demasiado limitado.

1.2. Situación problemática

Según el CONADIS (Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades) en Ecuador existen 212 766 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: renales, fragilidad ósea, pérdida de masa muscular, escaras, entre otras.

La falta de disponibilidad de sillas bipeDESTADORAS, es otro de los problemas y es principalmente debido a los altos costos que implican adquirirlas. Otro de los problemas es el limitado acceso de las personas con capacidades especiales a edificios y vías públicas.

1.3. Formulación del problema

¿Es posible diseñar y construir un prototipo de silla bipeDESTADORA a un precio accesible para la mayor parte de las personas que sufren discapacidad en sus miembros inferiores?

1.4. Preguntas directrices o específicas de la investigación

¿Para qué sirve la investigación?

La investigación sirve para el desarrollo de una silla bipeDESTADORA accesible para personas con discapacidad en sus miembros inferiores.

¿Qué resultados se esperan obtener?

- Se espera obtener modelos matemáticos del mecanismo.
- Simulaciones del funcionamiento de la silla bipeDESTADORA.
- Verificaciones del diseño mediante software CAE (ANSYS).
- Se espera obtener un producto accesible en términos económicos.

¿Quién o quiénes son los beneficiarios?

Los beneficiarios de este proyecto, son las personas que sufren discapacidad en sus miembros inferiores ya sea esta parcial o total.

¿Por qué es importante la investigación?

La investigación es muy importante, ya que se basa en los objetivos del Plan nacional del Buen vivir que son:

- Objetivo 3, del artículo 358 del Sistema Nacional de Salud para “el desarrollo, protección y recuperación de capacidades y potencialidades, incluyendo los servicios de promoción, prevención y atención integral”. (Plan Nacional del Buen Vivir, 2013-2017)

- Objetivo 4 literal 4.6, que promueve la “transferencia, el desarrollo y la innovación tecnológica, a fin de impulsar la producción nacional de calidad y alto valor agregado, con énfasis en los sectores priorizados como: la investigación, diseño y construcción de equipos relacionados con las discapacidades de los miembros superiores”. (Plan Nacional del Buen Vivir, 2013-2017)

¿Cuáles son los aportes de trascendencia que dejará?

Los principales aportes de la investigación son:

- El mecanismo de elevación para mantener erguida a una persona.
- Construcción de la silla bipedestadora que será la base para futuras investigaciones.
- El grado de viabilidad para la manufactura nacional a un bajo coste.

1.5. Justificación de la investigación

Las personas con discapacidad en sus miembros inferiores, dependen de otras personas para realizar tareas cotidianas o alcanzar objetos, por lo que se busca generar independencia con el uso de esta silla bipedestadora.

También se mejorará la calidad de vida de estas personas ya que, al mantener una posición de sedestación, las personas suelen tener problemas de digestión, renales y otros problemas generados al no poder mantener una posición erguida.

1.6. Objetivo general de investigación

Diseñar y construir una silla bipedestadora de costo factible para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores.

1.7. Objetivos específicos de investigación

- Realizar un análisis de las sillas bipedestadoras existentes.
- Analizar las medidas antropométricas de las personas con discapacidad en sus miembros inferiores.
- Analizar los parámetros de funcionamiento de una silla bipedestadora para hacer la selección del actuador, junto con las fuerzas necesarias para el paso a posición bípeda de las personas con este tipo de discapacidad.

- Realizar un ensayo de tintas penetrantes para determinar la calidad de la soldadura.
- Manufacturar la silla y realizar las pruebas de funcionamiento, de todos los sistemas móviles y motrices de la silla bipedestadora.

1.8. Hipótesis

1.8.1. Hipótesis general

El diseño y construcción de una silla bipedestadora para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores.

1.8.2. Hipótesis específicas

Mediante software ADAMS se puede seleccionar el actuador adecuado para la bipedestación.

Se puede evaluar la calidad de los cordones de soldadura a fin de ofrecer una estructura de calidad.

Se puede diseñar y construir una silla de ruedas en el país y ofertar al público a un bajo costo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

Una persona con capacidades especiales o discapacidad, es aquella que, como consecuencia de una pérdida o anormalidad de una estructura o función física, mental, intelectual o sensorial, sin importar la causa que lo hubiere originado, ve restringida permanentemente su capacidad biológica, psicológica y asociativa para ejercer una o más actividades esenciales de la vida diaria.

El Centro de Rehabilitación Integral y Especializado (CRIE Nro. 1) ubicado en la parroquia de Conocoto – Quito, Ecuador, brinda el servicio de rehabilitación en el área de fisioterapia, este centro cuenta con los espacios adecuados y máquinas especializadas para brindar tratamiento a los diferentes tipos de discapacidad, pero no cuenta con un bipedestador eléctrico tipo silla de ruedas, para sus terapias.

En Ecuador se adoptó el instrumento internacional, para la valoración de las situaciones de minusvalía conformada por normas para la evaluación de las consecuencias de la enfermedad, de acuerdo con el modelo propuesto por la clasificación internacional de ciencias, discapacidades y minusvalías de la O.M.S, entonces se considera a un paciente con discapacidad grado IV, a la persona con discapacidad grave ya que las secuelas imposibilitan la realización de la mayoría de las actividades diarias generales.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. *Discapacidad*

La organización mundial de la salud (2010) define a la discapacidad, como un término general que abarca las deficiencias, las limitaciones de la actividad y las restricciones de la participación. Las deficiencias son problemas que afectan a una estructura o función corporal, las limitaciones de la actividad son dificultades para ejecutar acciones o tareas y las restricciones de la participación, son problemas para participar en situaciones vitales.

2.2.2. Discapacidad motriz

La DGEE (Dirección General de Educación Especial), señala que la discapacidad motriz es una condición de vida que afecta el control y movimiento del cuerpo, generando alteraciones en el desplazamiento, equilibrio, manipulación, habla y respiración de las personas que la padecen, limitando también su desarrollo personal y social. En la Tabla 1-2 se muestran los grupos de músculos afectados por la discapacidad motriz. (Especial, 2012)

Tabla 1-2: Grupos musculares afectados por discapacidad motriz

Tipo de discapacidad	Grupos afectados
Parálisis	Afecta determinadas zonas del cuerpo
Monoplejía	Afecta un solo miembro, ya sea el brazo o la pierna.
Hemiplejía	Afecta a un lado del cuerpo, izquierdo o derecho.
Paraplejía	Parálisis de los dos miembros inferiores.
Cuadriplejía	Parálisis de los cuatro miembros.
Paresia	Parálisis leve o incompleta
Monoparesia	De un solo miembro
Hemiparesia	De un lado del cuerpo (derecho o izquierdo)
Paraparesia	De los miembros inferiores

Fuente: (Especial, 2012)

2.2.3. Paraplejía.

Es la pérdida o déficit de la función motora sensitiva de los segmentos torácicos, lumbares de la medula espinal como se indica en la Figura 1-2, en consecuencia de esto se produce la pérdida de la función motriz de las extremidades inferiores (piernas), la lesión de la medula espinal puede ser causado por factores como: una enfermedad congénita, tumores causados por accidentes automovilísticos, caídas al practicar deportes, entre otros. (ORTOPINOS, n.d.)



Figura 1-2: Paraplejía

Fuente: (ORTOPINOS, n.d.)

2.2.4. Rehabilitación

Es un proceso que incurre en la aplicación de muchas técnicas de restauración en una persona con discapacidad no tan grave, con la finalidad de recuperar su estado funcional en las personas que sufren una discapacidad de mayor grado, la rehabilitación evita su deterioro continuo ya que pueden convertirse en discapacitados con dependencia total, en vista de esto la tecnología ha desarrollado implementos como, sillas de ruedas automáticas y manuales que ayuden mejorar la vida de las personas con discapacidad, la rehabilitación de pacientes con lesión medular depende de algunos factores como: (Torres Olguin, 2012)

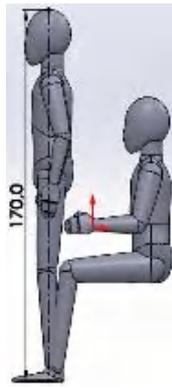
- Aspectos generales (complicación de alguno de los sistemas del organismo, dolor, edad)
- Aspectos psicológicos (depresión, motivación)
- Balance ortopédico (movilidad de musculatura y articulaciones)
- Nivel neurológico (paraplejia o tetraplejia)
- Problemas asociados (trauma craneoencefálico, fracturas, enfermedades asociadas a la lesión medular, fracturas etc.)

2.2.5. Antropometría

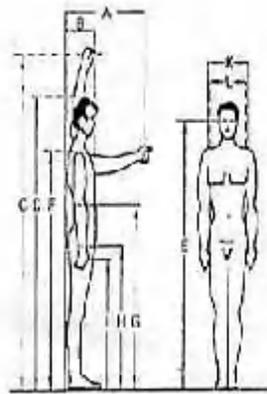
La antropometría se ocupa del estudio de las dimensiones estructurales y funcionales del cuerpo humano, siendo las medidas más usuales la longitud, el peso y tipo de movimiento. Son varios factores que incluyen en las dimensiones anatómicas tales como: la edad, el sexo, la raza, la ocupación. (Rivas, 2007)

Existen diferentes tipos de antropometría como es la estática y la dinámica, de las cuales se considera la antropometría estática, ya que hace referencia a la medición del cuerpo en reposo, de aquí se deduce las dimensiones de la talla (sin presentar estiramientos), en cambio la dinámica se encarga de la medición del cuerpo en movimiento y presenta dimensiones con estiramientos. (Castanier Muñoz Diego Martin, 2018)

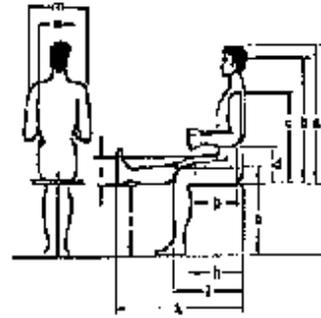
Las dimensiones del cuerpo humano según DIN 33402 parte 2 junio 1981, se indican en la Figura 2-2b y Figura 2-2c, en posición de pie y sentado respectivamente, mientras que la Figura 2-2a, indica la dimensión de estatura promedio de una persona de pie, misma que es de 170mm o 1,70m. (Albán Pucha, 2015)



a) Estatura promedio de una persona



b) Posición de pie



c) Posición de sentado

Figura 2-2: Dimensiones del cuerpo humano

Fuente: (Instituto Aleman para la Normalizacion, 1981)

La Tabla 2-2, muestra los valores medios de estatura referenciado mediante letras del alfabeto entre hombres y mujeres en posición erguida y de sentado.

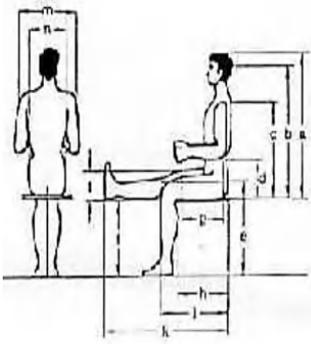
Tabla 2-2: Dimensiones del cuerpo humano según DIN 33402 parte 2 junio 1981

Designación	HOMBRES			MUJERES		
	Valor límite inferior	Valor medio	Valor límite superior	Valor límite inferior	Valor medio	Valor límite superior
En posición erguida						
A Alcance hacia delante	662	722	787	616	690	762
B Profundidad del cuerpo parado	233	276	318	238	285	357
C Alcance hacia arriba	1910	2051	2210	1748	1870	2000
D Estatura	1629	1733	1841	1510	1619	1725
E Altura de los ojos parado	1509	1613	1721	1402	1502	1596
F Altura de los Hombros	1349	1445	1542	1234	1339	1436
G Altura de los codos desde el piso	1021	1096	1179	957	1030	1100
H Altura entre piernas	752	816	886	-	-	-
I Altura de la mano	728	767	828	664	738	803
K Ancho de hombros entre acromios	367	398	428	323	355	388
L Ancho de la cadera	310	344	368	314	358	405
En posición de sentado						
a Altura del cuerpo desde asiento	849	907	962	805	857	914
b Altura de los ojos desde asiento	739	790	844	680	735	785
c Altura de los hombros	561	610	655	538	585	631
d Altura de los ojos desde asiento	193	230	280	191	233	278
e Altura de las rodillas	493	535	574	462	500	542
f Largo de pantomilla a pie	399	442	480	351	395	434
g Distancia de codo a pie de agarre	327	362	389	292	322	364
h Profundidad del cuerpo sentado	452	500	552	426	484	532
i Distancia nalga rodilla	554	559	645	530	587	631
k Distancia nalga pie	964	1035	1125	955	1044	1126
l Espesor del muslo	117	136	157	118	144	173
m Ancho sobre los codos	399	451	512	370	456	544
n Ancho de asiento	325	362	391	340	387	451

Fuente: (Instituto Aleman para la Normalizacion, 1981)

La Tabla 3-2, indica los valores promedios que existen entre hombres y mujeres, correspondientes a la posición de sentado de la Tabla 2-2.

Tabla 3-2: Valores promedios en posición de sentado de hombres y mujeres

Dimensiones de una persona en posición sentado	Descripción	\bar{x}
	a Altura del cuerpo desde el asiento	$(907+857) / 2=882\text{mm}$
	b Altura de los ojos desde el asiento	$(790+735) / 2=762,5\text{mm}$
	c Altura de los hombros	$(610+585) / 2=597,5\text{mm}$
	d. Altura de los ojos desde asiento	$(230+233) / 2=231,5\text{mm}$
	e. Altura de las rodillas	$(535+500) / 2=517,5\text{mm}$
	f. Largo de pantorrilla a pie	$(442+395) / 2=418,5\text{mm}$
	g. Distancia de codo a pie de agarre	$(362+322) / 2=342\text{mm}$
	h. Profundidad del cuerpo sentado	$(500+484) / 2=492\text{mm}$
	i. Distancia nalga rodilla	$(559+587) / 2=573\text{mm}$
	k. Distancia nalga pie	$(1035+1044) / 2=1039,5\text{mm}$
	l. Espesor del muslo	$(136+144) / 2=140\text{mm}$
	m. Ancho sobre los codos	$(451+456) / 2=453,5\text{mm}$
	n. Ancho de asiento	$(362+387) / 2=374\text{mm}$

Fuente: (Instituto Aleman para la Normalizacion, 1981)

2.2.6. Ergonomía

La Asociación Internacional de Ergonomía la define como, “una disciplina científica relacionada con la comprensión de las interacciones entre los seres humanos y otros elementos de un sistema. La profesión que aplica teoría, principios datos y métodos para diseñar un sistema a fin de optimizar el bienestar humano y el rendimiento global del sistema”. (Cañas Delgado, 2011).

La ergonomía se divide en dos definiciones, una ergonomía de los factores humanos, que se centra en las características fisiológicas cognitivas antropométricas de una persona a considerar para la transformación o diseño de los sistemas hombre máquina y la ergonomía que se centra sobre la actividad de las personas en el trabajo, a fin de contribuir con la transformación o diseño de los puestos de trabajo de las personas.

La ergonomía de una persona en silla de ruedas debe ser de postura normal, creando un ángulo de 90 grados entre el tronco y las piernas, ya que las piernas reposan sobre la horizontal del asiento y la espalda en el espaldar de la silla, esto hace que tenga estabilidad y una posición cómoda, de esta manera la persona puede descansar todo el cuerpo y evitar el cansancio permitiéndole permanecer sentada por periodos prolongados de tiempo.

La silla bipedestadora puede incorporar diversos sistemas de levantamiento, para que la persona pueda levantarse a una posición erguida por si sola, en cualquier momento cuando esta considere necesario, la Figura 3-2 muestra las posiciones de ergonomía correcta que debe adoptar una persona en la silla de ruedas.



Figura 3-2: Posturas correctas en la silla de ruedas
Fuente: (TheraMart, s.f.)

2.2.7. *Espacio disponible*

En las figuras 4a,4b,4c, se puede observar las dimensiones de espacio que dispone, para la movilidad una silla de ruedas (Plan Nacional del Buen Vivir, 2013-2017) básica, este espacio es el que conserva cuando esta entra en circulación por cualquier lugar, ya sea en el hogar, parques, lugares públicos entre otros.

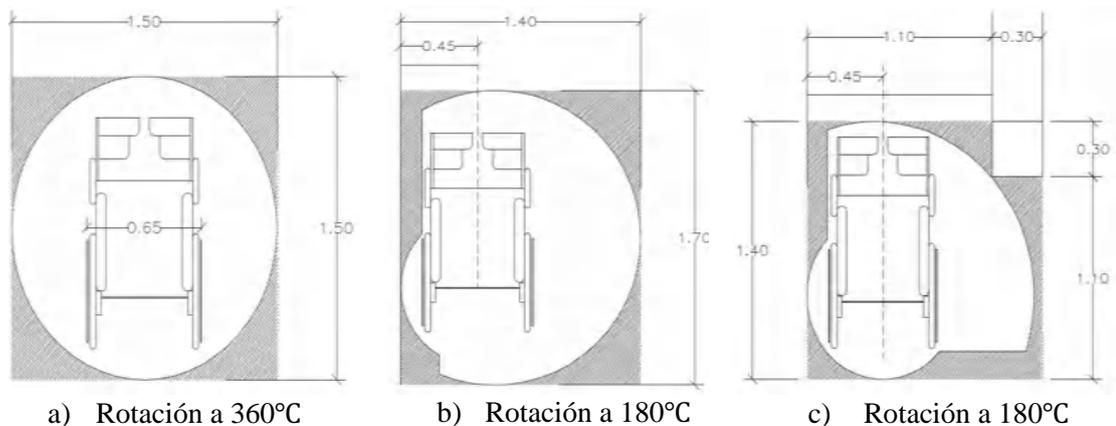


Figura 4-2: Espacio disponible para la movilidad de una silla
Fuente: (Instituto nacional de la infraestructura física educativa, 2012)

2.2.8. *Silla bipedestadora*

Son sillas de ruedas que permiten al ocupante ponerse de pie en su propia silla, realiza la subida o bajada a través de un mando electromecánico. Están provistas de artefactos de sujeción como: cinturones pélvicos, petos y apoyos de rodillas, los cuales permiten ponerse de pie al usuario que no puede hacerlo por sus propios medios.

2.2.8.1. Tipos de sillas bipedestadoras

- Invacare Action Vertic – Silla de ruedas de bipedestación eléctrica y traslado manual.

Este tipo de silla se indica en la Figura 5-2, es de manufactura española con coste en el mercado de 3340 euros incluido el IVA y envió gratuito en un plazo de entrega de 3 a 4 semanas. Tiene un sistema de verticalización del asiento eléctrica y gracias a los cinturones de seguridad incorporados para las rodillas, abdominales y pectorales realiza un movimiento de bipedestación seguro. (Ortoweb, n.d.)



Figura 5-2: Silla bipedestadora Invacare Action Vertic
Fuente: (Invacare, 2020)

La fisiología de la propulsión de la silla de ruedas en una persona con discapacidad, abarca parámetros como, el estado físico, nivel lesional, habilidad motora, posibilidades de adaptación y cualidades mecánicas de la silla. (Bruno & Isabelle)

Es una silla de propulsión manual, de construcción ligera de aluminio, destacada por su chasis compacto, es cómoda de maniobrar, incorpora un sistema eléctrico de verticalización, su peso es reducido, permite ponerse de pie fácilmente sin esfuerzo.

La verticalización es controlada por el usuario, mediante el accionamiento del botón de mando que efectúa una presión continua en el actuador, este movimiento hace que las rodillas generen un ángulo de apertura de rodillas-pelvis, los tubos del reposas pies bajan y las ruedas delanteras se levantan para brindar mayor estabilidad hasta que la verticalización sea completa. (ORTOPINOS, s.f.)

➤ Silla Bipedestadora Quickie Q700M -UP

Quickie ha lanzado al mercado la gama de sillas electrónicas en los modelos Quickie Q700M y Q700M-UP que se indica en la Figura 6-2, estas incorporan el sistema de posicionamiento biomecánico, dos potentes motores de cuatro polos de 550w mismos que son alimentados por baterías de 80A, tracción central de ruedas y radio de giro mínimo lo que permite girar en su propio eje, fácil de maniobrar en espacios reducidos, absorbe las irregularidades del terreno gracias al destacado sistema de suspensión que tiene, posee una velocidad de 10km/h lo que le hace la silla más rápida del mercado. (Adaptado.es, s.f.)

El mando de botones facilita el manejo, es una silla de diseño innovador tal que se puede hablar solo de cosas buenas de ella, tiene un costo de 23370 euros más IVA lo que implica que este valor no está al alcance económico de cualquier persona.



Figura 6-2: Quickie Q700M-UP

Fuente: (Adaptado.es, s.f.)

➤ Invacare Dragon Vertic – Silla de ruedas eléctrica de bipedestación

El tipo de silla que se muestra en la Figura 7-2, incorpora un sistema de bipedestación electrónica de tracción posterior, motores de 6km/h con batería de 60 Ah, debido a la composición de sus accesorios y estructura ofrece buena comodidad, las pequeñas ruedas delanteras garantizan estabilidad y seguridad, ponerse en posición de pie en esta silla resulta sencillo el precio en el mercado es de 4830 euros (Ortoweb, s.f.)



Figura 7-2: Invacare Dragon Vertic
Fuente: (Ortoweb, s.f.)

En la Tabla 4-2, se indica las principales características de una silla bipedestadora existente en el mercado.

Tabla 4-2: Características de las sillas bipedestadoras

Armazón	Acero rígido con recubrimiento
Ruedas delanteras	Neumáticas de 2.80/2.50-4
Ruedas posteriores	Neumáticas de 3.00-8
Velocidad máxima hacia adelante	9.15 km/h
Peso neto sin baterías	62 kg
Carga máxima	160 kg
Ancho del asiento	51 cm
Altura del respaldo	46 cm

Fuente: (Medical, n.d.)

El mecanismo de bipedestación mejora considerablemente los aspectos de salud en un paciente como: prevenir problemas ortopédicos en los miembros inferiores (equino de tobillos, flexum de caderas o rodillas) especialmente en niños, buena circulación de la sangre, estiramiento de músculos, mayor autoestima, impide la formación de escaras, ya que estas se generan debido a la inactividad corporal, equilibrio estático, funcionamiento de tejidos articulares, disminuye la pérdida exagerada de calcio por la orina, entre otros como se indica en la Figura 8-2. (Torres Olguin, 2012)



Figura 8-2: Beneficios de la bipedestación
Fuente: (Torres Olguin, 2012)

2.2.8.2. Componentes principales de una silla de bipedestación.

En la Figura 9-2, se muestra los componentes principales de una silla de bipedestación mismos que se describen a continuación.

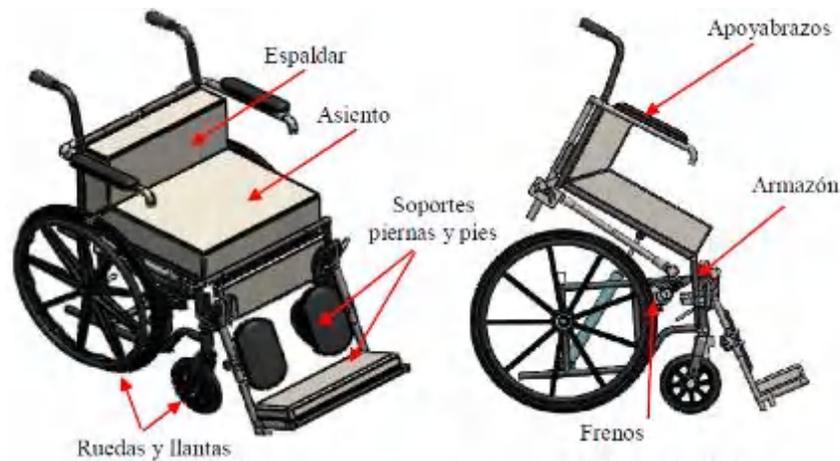


Figura 9-2: Silla bipedestadora
Fuente: (Espin Guerrero, 2018)

➤ Armazón

Comprende toda la estructura donde se acoplan los demás elementos para conformarla y acorde al material será su durabilidad y peso como se observa en la Figura 9-2.

➤ Asiento y respaldo

Pueden ser manufacturados en materiales solidos o flexibles, el material flexible es usado para usuarios de escaso control muscular, el inconveniente de este material es que no brinda estabilidad, por lo que no se puede lograr una postura adecuada y esto se corrige utilizando respaldos solidos con el fin de generar peso en el equipo. A continuación, se describen algunos tipos de cojines anti escaras. (Espin Guerrero, 2018)

- Cojines anti escaras de espuma básicos.

Se fabrican en fibra hueca siliconada de manera que la espuma crea burbujas formando huecos en su interior como se muestra en la Figura 10-2, en el mercado se encuentra de diferentes formas como cuadrados circulares entre otras. (Canitas, n.d.)



Figura 10-2: Cojines anti escaras
Fuente: (Canitas, n.d.)

- Cojines anti escaras de gel.

Están compuestos de silicona o gel en diferentes espesores acolchados lo que hace que sean cómodos, absorben de mejor forma los impactos, son algo pesados (ver Figura 11-2).



Figura 11-2: Cojines anti escaras de gel
Fuente: (Canitas, n.d.)

- Goma espuma de poliuretano (Espuma PU)

Es un material plástico poroso muy resistente, no contiene sustancias de poder cancerígeno se forma por la reacción química gaseosa del polioliol y el isocianato, esta reacción libera el dióxido

de carbono en forma de gas esto va formando burbujas expandiendo el volumen, son muy cómodos, de bajo costo, se encuentran disponibles en las tiendas nacionales de acuerdo al tipo de espesor, es el material más utilizado en la tapicería de muebles, sillas así también son empleados en la fabricación de colchones de descanso. (ver Figura 12-2)



Figura 12-2: Goma de poliuretano

Fuente: (Wikipedia, n.d.)

- Características del asiento y espaldar:

El uso de un asiento sólido donde reposa la pelvis y los muslos, corrige la inestabilidad corporal, con esto se logra un apoyo lumbar equilibrado gracias a la distribución uniforme del peso, brindándole así una mejor adaptación de las extremidades al asiento.

La salud del usuario depende de que la silla brinde un buen apoyo, mediante el uso de una superficie estable, para mantener el equilibrio de la cabeza, cuello y tórax, si no se cuenta con esto puede ocasionar úlceras, problemas respiratorios, sobre esfuerzo del cuello y espalda.

El respaldo debe tener una altura suficiente, para mantener un apoyo cómodo y adecuado, pueden ser flexibles o rígidas y para facilitar su transporte son plegables.

Son regulables para que se puedan adaptar fácilmente a la posición erguida, sentada o para momentos de descanso. (Canitas, n.d.)

- Apoya brazos

Su función es soportar el peso de los brazos para evitar la presión isquiática, mantienen el equilibrio del tronco y facilitan realizar maniobras que el usuario requiera, pueden ser ajustables, fijos o móviles de forma plana o cilíndrica como el que se indica en la Figura 13-2.



a) Apoya brazos planos



b) Apoya brazos cilíndricos

Figura 13-2: Tipos de apoya brazos

Fuente: (Canitas, n.d.)

- Tapizado

Tiene que ser impermeable, fácil de limpiar e inextensible. Una silla de ruedas para una persona con discapacidad, se convierte en una parte de su vestimenta, ya que convive con ella diariamente, por ello es necesario darle mucha importancia al color y aspecto de la misma, el proceso de tapizado puede llevarse a cabo realizando el cambio de esponjas y cuero, sin cambiar la armazón base donde estos se alojan o si no existe la armazón base esta puede ser manufacturada, cortando con las dimensiones adecuadas de acuerdo al tipo de asiento que se requiera en madera de calidad como lo es el MDF que se observa en la Figura 14-2a, ya que este es uno de los paneles de densidad media más utilizados hoy en día para cualquier trabajo, posee la mitad de la densidad de una madera normal y también por resinas, aserrín fino, virutas, estas provienen del pino tipo radiata, las características principales de este material son que sus cantos y caras tienen buen acabado superficial, absorbe con facilidad las lacas barnices y selladores, resiste a tornillos y clavos. (Herramientas, n.d.)

El cuero denominado Autostudio que se indica en la Figura 14-2b, es de alta calidad, por lo que brinda comodidad, suavidad, alta estética ideal para tapizados de muebles y vehículos (autostudio, n.d.)



a) Madera MDF



b) Cuero Autostudio

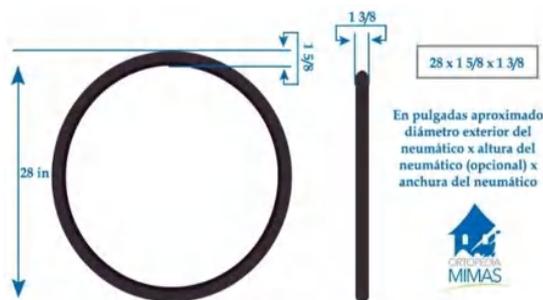
Figura 14-2: Materiales para tapizados

Fuente: (Herramientas, n.d.)

➤ Ruedas y llantas

Se conforma por dos ruedas, grandes y pequeñas, estas inciden en la altura total, fuerza de empuje, comportamiento de rodadura, brindan suavidad durante el desplazamiento, facilitan maniobras sobre distintos terrenos y superficies.

Las sillas de ruedas pueden ser neumáticas o macizas, las neumáticas brindan comodidad, durabilidad, resistencia, ligereza, la desventaja es que son propensas a sufrir pinchazos, en cambio las macizas son duras pero peores para la espalda, la ventaja que tienen es que soportan los pinchazos, el tamaño del neumático viene dado por el diámetro exterior, el perfil y ancho como se indica en la Figura 15-2.



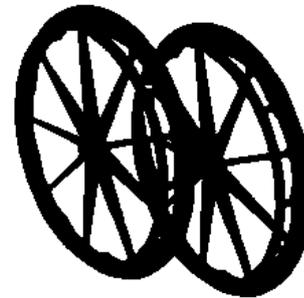
a) Tamaño del neumático



b) Neumático de bicicleta



c) Ruedas delanteras y traseras de goma maciza



d) Ruedas autopropulsables



e) Neumatico trasero de Scooter electrico 6 pulgadas

Figura 15-2: Tipos de llantas para silla de ruedas

Fuente: (Ortowe, n.d.)

Las ruedas pequeñas se ubican en la parte frontal, cambian la orientación de movilidad, esto se logra gracias a un eje giratorio montado sobre un rodamiento.

La elección del tipo de neumáticos para la silla de ruedas depende tipo de uso que le vaya a dar el usuario a la silla, puede ser con fines de rehabilitación, uso cotidiano o deportivos.

➤ Accesorios de seguridad para la silla de ruedas

Brindan protección, equilibrio y sostén para que sobre estos reposen cómodamente las extremidades superiores e inferiores, mientras el usuario se encuentra en posición de sentado o realiza alguna actividad cuando se encuentra en la posición de bipedestación, sus principales características son. (Ability, n.d.)

- Los estribos deben tener una longitud adecuada y deben ser regulables, para mantener una buena circulación sanguínea, así como también un buen apoyo del pie.
 - Deben tener un ángulo de posición adecuada para que el cuerpo no permanezca inclinado ni muy atrás ni muy adelante.
 - No es necesario adosar almohadillas de pantorrillas, cuando las pantorrillas y tobillo están correctamente apoyadas.
 - Hay que considerar si el usuario tiene discapacidad funcional de las manos, ya que debe accionar el mecanismo de desbloqueo que disponen en algunos modelos.
- Frenos

La misión de este elemento es reducir la velocidad paulatinamente hasta parar por completo a la silla, pueden ser de tipo mecánico o de fricción, el mecanismo que efectúa el frenado se sitúa en las llantas traseras o delanteras, mientras que la ubicación del mando de freno generalmente se ubica en la manija de la silla como se aprecia en la Figura 16-2a, cuando el usuario presenta una discapacidad total corporal ya que quien realiza las maniobras por ella es la persona quien está a su cargo, o dependiendo del tipo de discapacidad se sitúan en lugares de fácil alcance para evitar lesiones en los dedos, como por ejemplo las trabas que son accionadas e incorporadas de manera directa en las ruedas pequeñas giratorias para andamios como se observa en la Figura 16-2b. (Ability, n.d.)



a) Freno incorporado en las manijas



b) Rueda para andamio

Figura 16-2: Tipos de frenos para silla de ruedas
Fuente: (Ability, n.d.)

- Cinturones de seguridad

Se incorporan a la a la silla para garantizar la seguridad del usuario, generalmente para personas que han permanecido en cama o sentadas por mucho tiempo, evitan malas posturas y caídas repentinas. Los factores para la selección de correas son:

Distribución de presión

Estabilidad de soportes para la función de las extremidades superiores

Mantenimiento de la postura sentado como vertical para prevenir deformidades

- Cinturón Reactiv

Es adaptable a cualquier tipo de silla de ruedas, brinda mejor seguridad y postura, de fácil aseo, construida en espuma de alta densidad lo que le permite absorber impactos, resistente al desgaste por factores como orina, manchas, líquidos, el cinturón de seguridad posee cuatro puntos por lo que ofrece poco movimiento y mayor estabilidad. (ver Figura 17-2). (Ability, n.d.)



Figura 17-2: Cinturón Reactiv
Fuente: (Ability, n.d.)

- Cinturón de transferencia Medicupola

Es de material 100% poliéster de 1.60m de largo, sirve como auxiliar en el levantamiento y traslado del usuario (Ver Figura 18-2)



Figura 18-2: Cinturón de transferencia Medicupola
Fuente: (Ability, n.d.)

- Anklehuggers arnés posicionador de pies

Es fácil de instalar en cualquier tipo de silla, previene deformidades y permite el movimiento natural de las extremidades inferiores ya que este rodea los tobillos dejando libre los pies como se indica en la Figura 19-2.



Figura 19-2: Arnés posicionador de pies
Fuente: (Ability, n.d.)

- Estabilizador de cadera dos puntos

Es una buena opción implementar este accesorio, cuando se requiere obtener máximo posicionamiento y soporte en el área media del cuerpo al estar de pie como en posición de sentado,

esto evita que el usuario se deslice y tenga mayor estabilidad, corrigiendo así la rotación de la cadera y ayudando a la circulación sanguínea. (ver Figura 20-2)



Figura 20-2: Estabilizador de caderas de dos puntos
Fuente: (Ability, n.d.)

- Arnés de seguridad para piernas

Proporciona estabilidad frente a movimientos como rotaciones y oblicuidades pélvicas, evita presionar la vejiga y no limita la correcta circulación sanguínea (ver Figura 21-2).



Figura 21-2: Arnés de seguridad para piernas
Fuente: (Ability, n.d.)

2.2.9. Sistema de verticalización para la bipedestación

En la actualidad para impulsar el mecanismo de bipedestación se utilizan sistemas eléctricos, pistones a gas, o actuadores lineales, estos funcionan como un usillo que transmiten movimiento lineal y lo transforma a circular, una vez dispuesta la camilla en la posición correcta estos levantan la misma desde una posición de 0° hasta 90° máximo, como se indica en la Figura 22-2, deben

ser elementos de pequeñas velocidades capaces de proporcionar movimientos progresivos suaves y seguros.

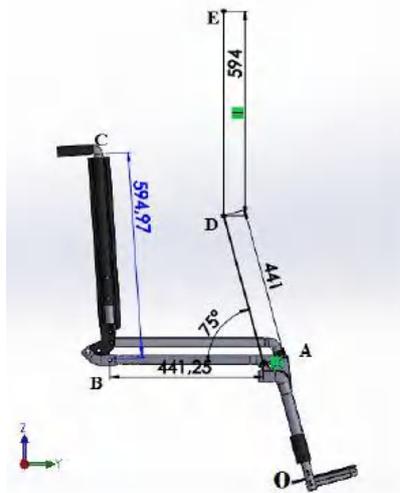


Figura 22-2: Cinemática de un mecanismo bipedestador
Fuente: (Suarez)

Entre los tipos de sistemas de verticalización se destacan tres grupos los cuales son:

- ✓ Sillas con propulsión manual y verticalización eléctrica
- ✓ Sillas eléctricas con verticalización eléctrica.
- ✓ Sillas con propulsión manual y verticalización manual asistida

2.2.10. Actuadores

- Gato mecánico tijera eléctrica

Este elemento se muestra en la Figura 23-2, es una maquina simple de 5.2Kg de peso permite elevar cargas pequeñas de hasta 2 toneladas, mediante el accionamiento de una palanca o tornillo al ser asistido por un motor eléctrico cuya fuente de alimentación es una batería de voltaje clasificado DC12V, con peso igual a 10kg, al girar en sentido horario, la gata se eleva a una altitud de 12 a 35cm y al girar en sentido contrario, la gata pierde altitud hasta llegar a su posición original. (Moya Ortega, 2016)

Al pasar del tiempo las mejoras tecnológicas, cuestionan el uso de actuadores electromecánicos en vez de actuadores neumáticos (ver Figura 23-2c), para nuevos sistemas y maquinas, los actuadores electromecánicos son ecológicos, presentan bajo costo de operación, mientras que los

actuadores neumáticos presentan fugas de aire, no son ecológicos, para su funcionamiento requieren conexión a una fuente externa de aire comprimido.



a) Equipamiento del gato mecánico eléctrico

b) Vista lateral derecha

c) Actuador lineal neumático

Figura 23-2: Gato mecánico eléctrico y actuador lineal

Fuente: (Moya Ortega, 2016)

2.2.11. Centro de gravedad

La atracción que ejerce la tierra sobre cualquier cuerpo, se representa por un sin número de diminutas fuerzas que actúan sobre este de forma distribuida, el centro de gravedad se define como el punto imaginario(G), como se muestra en la Figura 24-2, donde se aplica la fuerza resultante(W), de todas las fuerzas de gravedad. (Ferdinand P, E. Russell, & Eisenberg)

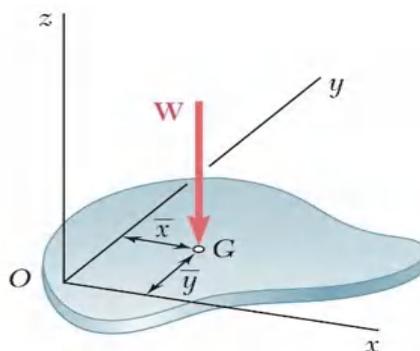


Figura 24-2: Centro de gravedad de una placa

Fuente: (Ferdinand P, E. Russell, & Eisenberg)

El centro de gravedad del cuerpo humano, es el punto donde se equilibran y concentra todo el peso corporal, anatómicamente este se encuentra en la pelvis, anterior al sacro (segunda vertebra sacral, S-2), como se indica en la Figura 25-2, en las mujeres se encuentra más abajo que en los varones debido a que ellas poseen pelvis, muslos más pesados y piernas cortas. (Acuña, 2016)

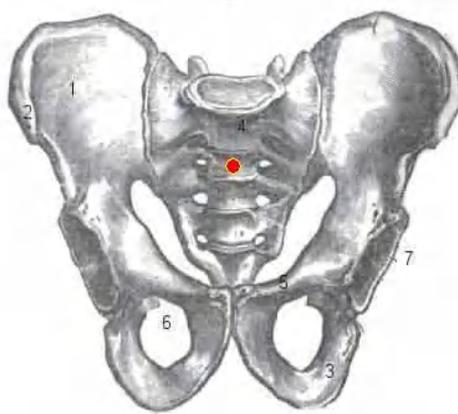


Figura 25-2: Centro de gravedad del cuerpo humano
Fuente: (Acuña, 2016)

La línea vertical imaginaria que pasa por el centro de gravedad depende de la posición del mismo, cuando la postura es correcta, esta línea pasa a través de las vértebras cervicales y lumbares medias por delante de las vértebras dorsales, se obtiene un mínimo gasto de energía cuando el CDG permanece en equilibrio, mientras el cuerpo se mueve en línea recta. Cuando una persona se desplaza el CDG se mueve de arriba abajo, el punto más alto se determina cuando la extremidad que contiene al peso, se encuentra en el centro de fase de apoyo y el punto más bajo se da cuando la persona esta con ambos pies sobre el suelo como se observa en la Figura 26-2.

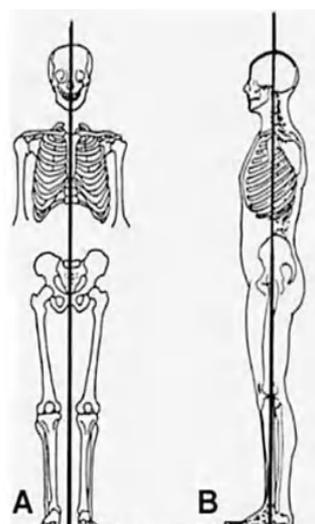


Figura 26-2: Línea de gravedad
Fuente: (Acuña, 2016)

EL centro de gravedad varía según la posición que adopte el cuerpo, su proyección debe estar dentro de la base de sustentación para que este en equilibrio como se observa en la Figura 27-2a, Figura 27-2b y Figura 27-2c, se puede ver como varía la proyección del CDG, cuando una persona en silla de ruedas pasa sobre una calzada con diferentes ángulos de inclinación, mientras más inclinada sea esta, el CDG tiende a salir de la base de sustentación, como se muestra en la Figura 27-2c, esto hace que el usuario realice mayor esfuerzo físico y como consecuencia de esto tendrá mayor gasto energético, además tendera a sufrir un volcamiento. (Torres Olguin, 2012)

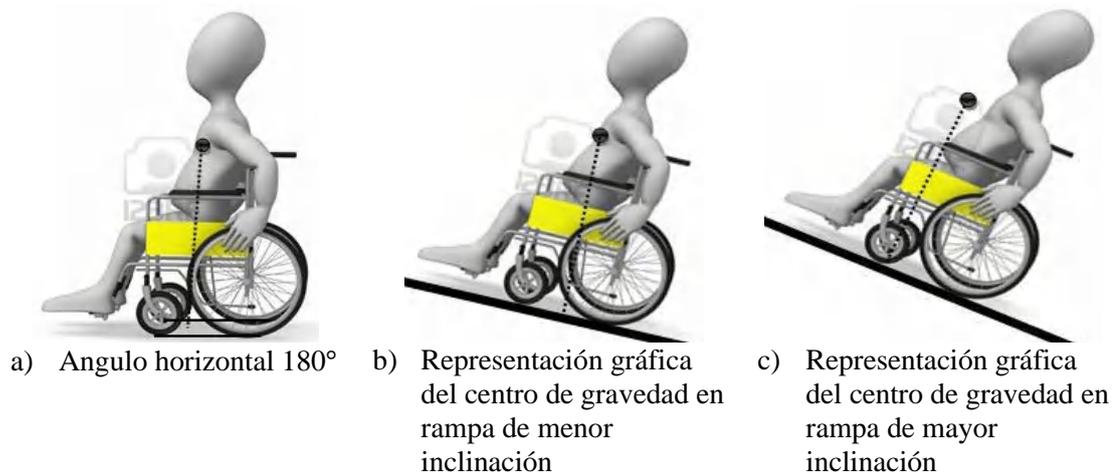


Figura 27-2: Variación del centro de gravedad de acuerdo a la posición del cuerpo
Fuente: (Torres Olguin, 2012)

El centro de gravedad de una persona en posición bipedestada se muestra en la Figura 28-2.

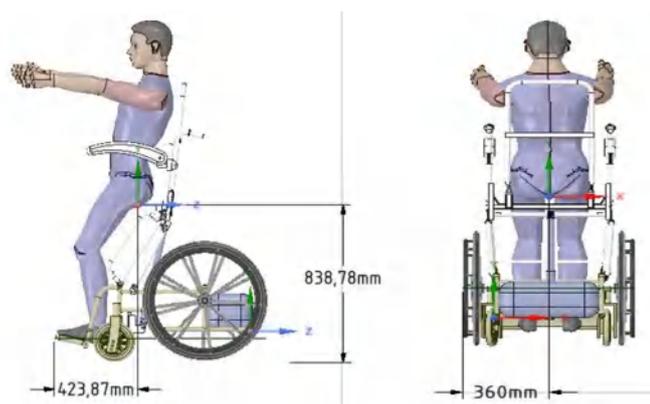


Figura 28-2: Centro de gravedad del conjunto silla-usuario
Fuente: (Espin Guerrero, 2018)

Las coordenadas del centro de gravedad del cuerpo, en posición de bipedestación, respecto del sistema de referencia, se puede calcular aplicando el método de segmentos, considerando la Figura 29-2 y la Tabla 5-2, mediante las ecuaciones (1 y 2) que se indican para cada coordenada X e Y.

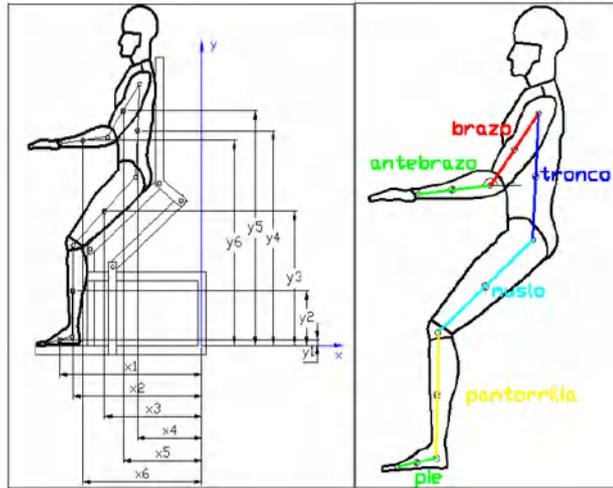


Figura 29-2: Segmentación del cuerpo para centros de gravedad
Fuente: (Urrutia Urrutia, 2016)

Coordenada en X:

$$X = x_1(1,5\%) + x_2(4,3\%) + x_3(10,3\%) + x_4(50,7\%) + x_5(2,6\%) + x_6(1,6\%) \quad (1)$$

Coordenada en Y:

$$Y = y_1(1,5\%) + y_2(4,3\%) + y_3(10,3\%) + y_4(50,7\%) + y_5(2,6\%) + y_6(1,6\%) \quad (2)$$

Tabla 5-2: Obtencion del centro de gravedad por el metodo de segmentos

Segmento del cuerpo	Porcentaje peso Segmental %	Valor de la coordenada x	Producto (x)(%/m)	Valor de la coordenada Y	Producto (y)(%/m)
Pie	1,5%	x1	x1(1,5%)	y1	y1(1,5%)
Pantorrilla	4,3%	x2	x2(4,3%)	y2	y2(4,3%)
Muslo	10,3%	x3	x3(10,3%)	y3	y3(10,3%)
Tronco	50,7%	x4	x4(50,7%)	y4	y4(50,7%)
Brazo	2,6%	x5	x5(2,6%)	y5	y5(2,6%)
Antebrazo	1,6%	x6	x6(1,6%)	y6	y6(1,6%)

Fuente: (Urrutia Urrutia, 2016)

➤ Límite teórico de vuelco

El límite teórico de vuelco tiene una amplia aplicación en el automovilismo ya que el vehículo soporta el peso sobre los neumáticos ya que de acuerdo a la distribución de masas estas soportan un determinado porcentaje del peso total siendo lo delanteros de mayor porcentaje, el reparto de la carga es simétrico respecto del eje longitudinal (X), es decir el reparto entre ruedas de un mismo

eje es el mismo en una situación de reposo o de circulación en línea recta. Por tanto, para que se origine el fenómeno de vuelco, primeramente, debe ocurrir que uno de los ejes del vehículo, en cualquiera de sus lados pierda contacto con la calzada. Esto se debe a la excesiva fuerza centrífuga que se produce en el giro de los neumáticos, lo que hace que se desvíe el peso a uno de los lados. Aquí se introduce el termino de carga lateral (R) que es la transferencia del peso hacia la derecha o izquierda del vehículo dependiendo de si se hacia dónde se esté produciendo el giro del vehículo. En base a los datos de las fuerzas verticales que soporta cada rueda como se indica en la Figura 30-2, se puede calcular el límite de vuelco del vehículo, mediante la transferencia de carga (R) y mediante la ecuación (3): (Rodríguez, 2015)

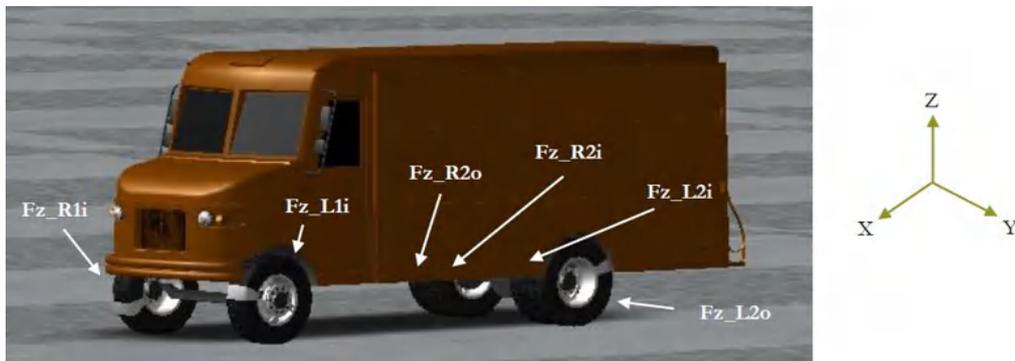


Figura 30-2: Esquema de las fuerzas verticales en los neumáticos
Fuente: (Rodríguez, 2015)

$$R = \frac{(Fz_{R2i} + Fz_{R1i}) - (Fz_{L2i} + Fz_{L1i})}{\sum Fz} \quad (3)$$

Dónde:

Fz_{R1i} : Rueda delantera derecha

Fz_{R2i} : Rueda trasera derecha interior

Fz_{R2o} : Rueda trasera derecha exterior

Fz_{L1i} : Rueda delantera izquierda

Fz_{L2i} : Rueda trasera izquierda interior

Fz_{L2o} : Rueda trasera izquierda exterior

Si el resultado obtenido de este cálculo es mayor que (1) o menor (-1) significa que todos los neumáticos, (1) para el lado derecho y (-1) para el lado izquierdo, de un lado del vehículo han perdido el contacto con el suelo, entonces el peso del camión se encuentra soportado por un solo lado de los ejes en consecuencia de esto el vuelco del camión es inminente. Si (R) es menor que (1) entonces el vehículo no habrá excedido el límite de vuelco y podría seguir circulando normalmente. (Rodríguez, 2015)

$R \geq 1$ Pérdida de contacto con la calzada en el lado derecho
 $R \leq -1$ Pérdida de contacto con la calzada en lado izquierdo
 $-1 < R < 1$ Sin pérdida de contacto de ambos lados del vehículo

2.2.12. Dinámica

Es la rama de la física que estudia el movimiento de los cuerpos, bajo la acción de una fuerza, y se divide en cinemática y cinética, la cinemática se encarga del estudio de los aspectos geométricos del movimiento, mientras que la cinética estudia las fuerzas que causaron el movimiento.

2.2.13. Esfuerzo

Es el término que se utiliza para definir la intensidad y dirección de las fuerzas internas que actúan en un punto dado, o en un área determinada sobre un plano particular de cualquier elemento mecánico, pueden estar dispuestas en dirección normal y tangencial, generando esfuerzos normales y cortantes tangenciales, esfuerzos de tensión, compresión, dependiendo de la carga aplicada. (Budynas & Nisbett, 2008)

2.2.14. Esfuerzos uniformes distribuidos

Frecuentemente en el diseño se asume una distribución uniforme del esfuerzo, llamada también tensión pura, compresión pura, o cortante pura, esta depende de la aplicación de la fuerza, una deformación que este sobre el límite elástico generara un colapso del material deformándolo permanentemente, su fórmula está dada por: (Robert, 2006)

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (4)$$

Dónde:

σ = Esfuerzo

A = Área (cm^2)

F = Fuerza (N)

2.2.15. Resistencia estática

Es la capacidad de resistencia que posee un elemento cuando a este se le aplican distintas cargas en un punto específico, estos elementos pueden estar sometidos a estados tensionales no uniaxiales, se utilizan los siguientes criterios para analizar la resistencia estática en materiales dúctiles. (Budynas & Nisbett, 2008)

- Criterio de Rankine (tensión normal máxima)
- Criterio de Tresca (tensión tangencial máxima)
- Criterio de Von Mises (máxima energía de distorsión)

Generalmente el criterio de Von Mises es el más aceptado cuando se trata del caso de materiales dúctiles.

2.2.16. Teorías de fallas bajo cargas estáticas

Se relaciona directamente con la pérdida de funcionalidad de un elemento de máquina, por factores como agrietamiento, deformación permanente, ruptura, lamentablemente no existe una teoría universal de falla para un caso general de las propiedades del material y estado de esfuerzo, sin embargo a través del tiempo se han aprobado varias hipótesis que han conducido a la práctica, aceptadas hoy en día como teorías de fallas, las cuales son adoptadas por la mayoría de diseñadores y estas para materiales dúctiles(criterios de fluencia) son:

Esfuerzo cortante máximo (ECM). - Conocida también como la teoría de Tresca o Guest, esta considera que la fluencia empieza cuando el esfuerzo cortante máximo de un elemento es igual al esfuerzo cortante máximo en un elemento de ensayo a tensión con el mismo material, esa pieza comienza a fluir y viene dado por la siguiente ecuación. (Espin Guerrero, 2018)

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \geq \frac{S_y}{2} \quad \text{o} \quad \sigma_1 - \sigma_3 \geq S_y \quad (5)$$

Dónde:

$\tau_{\text{máx}}$ = Esfuerzo cortante máximo

σ_1, σ_3 = Esfuerzos

S_y = Limite de fluencia

n = Factor de seguridad

La ecuación (2) modificada incorpora un factor de seguridad (n), para propósitos de diseño viene dada por: (Espin Guerrero, 2018)

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{S_y}{2n} \quad \text{o} \quad \sigma_1 - \sigma_3 = \frac{S_y}{n} \quad (6)$$

La resistencia a la fluencia en cortante (S_{sy}) se da por:

$$S_{sy} = 0.5S_y \quad (7)$$

2.2.17. Energía de distorsión (ED)

Esta teoría también se la denomina como, teoría de Von Mises o Von Mises – Hencky, energía cortante o de esfuerzo cortante octaédrico, que predice que una falla por fluencia, se da cuando la energía de deformación total por unidad de volumen, excede la energía de deformación por unidad de volumen, correspondiente a la resistencia a la fluencia ya sea en tensión o compresión del mismo material, su fórmula se da por: (Budynas & Nisbett, 2008)

$$\sigma_{\text{prom}} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (8)$$

Dónde:

σ_{prom} = Esfuerzo promedio

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ = Esfuerzos

2.2.18. Esfuerzo de Von Mises

Se define como un esfuerzo a tensión uniaxial, al esfuerzo efectivo de Von Mises (σ') por que genera la misma energía de distorsión que la produciría por la combinación de los esfuerzos que se aplican, mediante esto se puede tratar esfuerzos combinados multiaxiales de tensión, como si fueran cargas de tensión para esfuerzos tridimensionales y viene dado por la fórmula. (Budynas & Nisbett, 2008)

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \right]^{1/2} \quad (9)$$

Un estado de esfuerzo en dos dimensiones viene dado por la expresión:

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{1/2} \quad (10)$$

2.2.19. *Mohr Coulomb dúctil (CMD)*

Esta teoría otorga importancia a la hipótesis que puede usarse para predecir la falla de materiales, cuyas resistencias en tensión y compresión no son iguales y esta se basa en tres ensayos simples, compresión, tensión y cortante a la fluencia si el material puede fluir o a la ruptura. (Espin Guerrero, 2018)

$$\frac{\sigma_1}{S_t} = \frac{\sigma_3}{S_c} = 1 \quad (11)$$

Dónde:

S_t = Resistencia de tracción

S_c = Resistencia de compresión

σ_1, σ_3 = Esfuerzos

Para la ecuación de diseño que se muestra se incorpora el factor de seguridad dividiendo a toda la ecuación anterior para n siendo así: (Espin Guerrero, 2018)

$$\frac{\sigma_1}{S_t} = \frac{\sigma_3}{S_c} = \frac{1}{n} \quad (12)$$

2.2.20. *Peso máximo de una persona (PM)*

Se define como el peso total que posee una persona, para el presente estudio se consideró el peso máximo promedio de una persona latinoamericana cuyo valor es igual a 100kg.

2.2.21. *Peso requerido (P_R)*

Es la relación que existe entre el peso máximo de una persona y el número de vigas existentes (vigas transversales y longitudinales), puesto que una persona cuando se sienta distribuye todo su peso sobre ellas y viene dado por: (Espin Guerrero, 2018)

$$P_R = \frac{\text{Peso maximo de la persona}}{\text{Número de vigas}} \quad (13)$$

2.2.22. Longitud crítica (L_c)

Es la magnitud correspondiente al largo de los elementos que componen la estructura.

2.2.23. Carga distribuida (q)

Es la relación que existe entre el peso requerido y la longitud crítica, como se indica en la siguiente ecuación. (Espin Guerrero, 2018)

$$q = \frac{P_R}{L_c} \quad (14)$$

2.2.24. Factor de diseño (n_d)

Determina el nivel de esfuerzo que puede desarrollarse en un material, asegurándose así que el miembro estructural soporte la carga a la cual este sometido y sea seguro, un factor de diseño de, $n_d=1$, indica que el material esta a punto de colapsar por tanto dicho valor, es el criterio de valor mínimo que se debe considerar, en consecuencia de esto para todo el diseño de la silla mencionada se considera un factor de diseño $n_d=1.5$ y puede estar en función de la resistencia a la cedencia y resistencia ultima, como se observa en las siguientes ecuaciones: (Robert, 2006)

$$\sigma_d = \frac{S_y}{n_d} \quad (15)$$

$$\sigma_d = \frac{S_u}{n_d} \quad (16)$$

Dónde:

σ_d = Esfuerzo de diseño

n_d = Factor de diseño

S_y = Limite de fluencia

2.2.25. Límite de fluencia:

En una prueba de tensión los materiales llegan a un punto donde la deformación unitaria crece rápidamente, sin incremento correspondiente en el esfuerzo, esto se da en los materiales dúctiles, a diferencia de los materiales frágiles que carecen de punto de fluencia ($S_y = F_y$), para este estudio se considera el límite de fluencia de Acero negro, $S_y = F_y = 2549 \frac{kg}{cm^2} = 36259.43 lb/plg^2$

2.2.26. Momento crítico

El momento crítico se produce cuando una determinada carga ubicada a una determinada distancia, tiende a efectuar un torque sobre una viga y viene dado por la siguiente ecuación:

$$M = \frac{ql^2}{8} \quad (17)$$

Dónde:

M = Momento (Kg*cm)

q = Carga distribuida (kg)

l = Longitud (cm)

2.2.27. Momento crítico para vigas en voladizo

Se dice que una viga es en voladizo cuando, se encuentra empotrada a una pared en un extremo de ella, mientras el otro extremo esta libre y se da por la siguiente ecuación:

$$M = \frac{ql^2}{2} = F * L \quad (18)$$

Dónde:

M = Momento (Kg*cm)

q = Carga Distribuida (Kg)

l = Longitud (cm)

2.2.28. Esfuerzo permisible (F_b)

Aplicando la teoría de la energía de la distorsión (esfuerzo de Von Mises) y un factor de diseño $n_d = 1.5$, el esfuerzo flexionante máximo permisible basado en la norma AISC, se da por la ecuación:

$$S_y = F_y \quad (19)$$

$$F_b = 0.66 * S_y \quad (20)$$

Dónde:

F_b = Esfuerzo permisible ($\frac{kg}{cm^2}$)

S_y = Limite de fluencia

En la tabla 6, se indican valores de esfuerzos permisibles para columnas hasta $F_y = 46000psi$, de acuerdo a la AISC 1963.

Tabla 6-2: Esfuerzos permisibles de columnas ($F_y = 46000psi$)

$\frac{KL}{r}$ ratio		1	2	3	4	5	6	7	8	9
	F_a	27.540	27.480	27.420	27.360	27.300	27.230	27.160	27.090	27.020
10	26.950	26.870	26.790	26.720	26.630	26.550	26.470	26.380	26.290	26.210
20	26.110	26.020	25.930	25.830	25.730	25.640	25.540	25.430	25.330	25.230
30	25.120	25.010	24.900	24.790	24.680	24.560	24.450	24.330	24.210	24.100
40	23.970	23.850	23.730	23.600	24.480	23.350	23.220	23.090	22.960	22.830
50	22.690	22.560	22.420	22.280	22.140	22.000	21.860	21.720	21.570	21.430
60	21.280	21.130	20.980	20.830	20.680	20.530	20.370	20.220	20.060	19.900
70	19.740	19.580	19.420	19.260	19.100	18.930	18.760	18.600	18.430	18.260
80	18.080	17.910	17.740	17.560	17.390	17.210	17.030	16.850	16.670	16.480
90	16.300	16.120	15.930	15.740	15.550	15.360	15.170	14.970	14.780	14.580

Fuente: (Construction, 1963)

2.2.29. Módulo de sección (S)

Es la relación que existe entre un momento y el esfuerzo permisible como se indica:

$$S_{xrequerido} = \frac{M}{F_b} \quad (21)$$

Dónde:

$S_x = W =$ Módulo de sección (cm^3)

$M =$ Momento ($kg \cdot cm$)

$F_b =$ Esfuerzo permisible (Psi)

El módulo de una sección redonda se da por:

$$W = Z = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} \quad (22)$$

Dónde:

$D =$ Diámetro externo (cm)

$d =$ Diámetro interno (cm)

2.2.30. Validación de secciones

Una sección cualquiera se dice que es correcta en diseño cuando cumple la siguiente desigualdad:

$$S_{xreq} < S_{tab} \quad (23)$$

Dónde:

$S_{xreq} =$ Modulo de sección calculado (cm^3)

$S_{tab} =$ Modulo de sección dado en tablas (cm^3)

2.2.31. Relación de esbeltez

Es un valor adimensional y el comportamiento de las columnas, está determinado en gran medida por su esbeltez y esta es la relación que existe entre la longitud y el radio mínimo de la sección transversal de la columna, como se muestra en la ecuación 24.

Además, el factor de condiciones de apoyo de las secciones extremas denominado factor de longitud efectiva (k), cuyos valores se indican en la Tabla 7-2, de acuerdo con la relación de esbeltez las columnas pueden ser:

- Columnas cortas
- Columnas intermedias
- Columnas largas o esbeltas

$$KL/r \tag{24}$$

Dónde:

K= Factor de longitud efectiva

L= Longitud de la viga (cm)

r= Radio de giro mínimo de la sección transversal de la columna (cm)

Tabla 7- 2: Longitudes efectivas de columnas

Longitudes efectivas de columnas						
Las líneas interrumpidas muestran la forma pandeada de la columna	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor K teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados de diseño cuando las condiciones son parecidas a las ideales.	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0

Fuente: (Robert, 2006)

2.2.32. Radio de giro

La dimensión de esbeltez en una sección transversal de una columna es su radio de giro y se da por:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \tag{25}$$

Dónde:

I = Momento de inercia de la sección transversal de una columna, con respecto a uno de los ejes principales

A = Área de la sección transversal (cm²)

2.2.33. Sección admisible

Es la relación que existe entre la carga requerida y el esfuerzo permisible como se indica en la ecuación:

$$A = \frac{P}{Fa} \quad (26)$$

Dónde:

A = Area de sección del tubo (plg^2)

P = Carga requerida (kg)

Fa = Esfuerzo permisible (psi)

2.2.34. Carga requerida (P_c)

Es el producto que existe entre el área de la sección del tubo y el esfuerzo permisible como se indica:

$$P_c = A * Fa \quad (27)$$

Dónde:

P_c = Carga requerida (kg)

A = Área de sección del tubo seleccionado (cm^2)

El área de la sección de un tubo se da por:

$$A = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \quad (28)$$

Dónde:

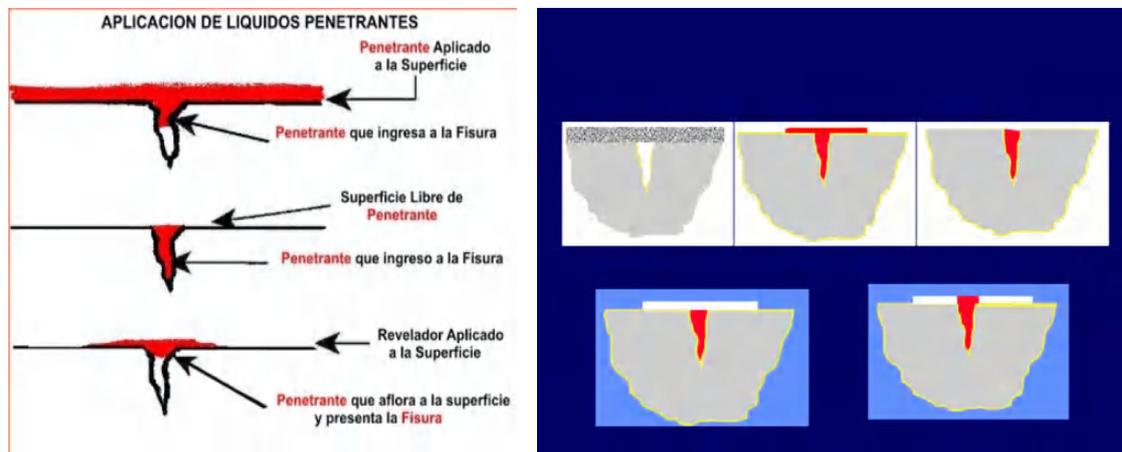
D = Diámetro exterior (mm)

d = Diámetro interior (mm)

2.2.35. Tintas o líquidos penetrantes (PT)

El ensayo de tintas penetrantes se realiza con el objetivo de determinar la calidad de los cordones de soldadura, esto se basa en un kit de tintas las cuales se aplican sobre la superficie de dichos cordones en base a un determinado tiempo de mojado y temperatura esta tinta migra dentro de pequeñas aberturas o fisuras como se observa en la Figura 31-2b.

La evaluación por líquidos penetrantes es un medio de ensayo no destructivo para determinar discontinuidades en base a la acción capilar de los líquidos, después de un tiempo de haber aplicado las tintas el penetrante deberá limpiarse de la superficie y luego con un revelador que aplicará la acción capilar para remover el penetrante, se observará la discontinuidad.



a) Aplicación

b) Penetración de la tinta



c) Kit de tintas

Figura 31-2: Descripción del ensayo y kit de tintas penetrantes
Fuente: (Rodríguez, 2015)

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El presente proyecto será desarrollado utilizando una metodología aplicada para en base a esta llegar hacia un objetivo determinado.

3.1. Métodos de investigación

En la Tabla 1-3 se muestra la metodología a desarrollarse, para el diseño y construcción de un prototipo de silla bipedestadora.

Tabla 1- 3: Métodos de investigación

MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN	TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN
Investigación aplicada	Bocetos preliminares de diseños	Investigaciones previas, Papers y bibliografías Páginas web
	Modelado del prototipo	Normas estandarizadas Software CAD
	Diseño mecánico de la silla bipedestadora	Investigaciones previas, Papers y bibliografías
	Análisis estructural	Software ANSYS
	Selección de accesorios para la manufactura	Software ADAMS Investigaciones previas, Papers y bibliografías
	Manufactura de la silla	Metro Calibrador Escuadras Amoladora Soldadora

Fuente: Autor

3.1.1. Bocetos preliminares de diseño

Previo al diseño de la silla bipedestadora se bosqueja el boceto que se indican en la Figura 1-3, basado en modelos de investigaciones anteriores, con el objetivo de realizar el análisis de las dimensiones de la estructura, funcionamiento e implementación del mecanismo bipedestador, asiento, espaldar, reposa cabeza, posición de bipedestada de la persona y estructura que soportara a la misma, siendo este el punto de partida del diseño para la posterior digitalización en software CAD.



a) Análisis de la estructura que soportara a la persona en posición bipedestada.



b) Análisis del montaje y posición de llantas delanteras y posteriores.



c) Análisis del mecanismo bipedestador, tipo de articulaciones y movimiento que permita bipedestar de forma sencilla.

Figura 1-3: Boceto preliminar de la silla bipedestadora

Fuente: Autor

De acuerdo a la Figura 1-3b, se eligió por mantener el diseño de la carrocería con estructura tradicional de vigas longitudinales y transversales. En base al análisis que se indica en la Figura 1-3a se concluyó que, la estructura para el soporte del peso de la persona en posición bipedestada, sea de dos tubos redondos y sobre estos se monte una plataforma metálica de forma rectangular, la cual ayudará a distribuir de mejor forma el peso de la persona.

En cuanto al montaje y posición de las llantas delanteras y posteriores se analizó con dos ruedas delanteras ubicadas a los lados de la estructura de soporte, esto incurre que la silla sea más pesada y de mayor costo, en vista de esto se optó solo montar una llanta en la mitad de la parte delantera de la estructura y las ruedas posteriores ubicarlas en la parte intermedia de la silla, para que el peso de la silla y usuario sea distribuido uniformemente a fin de evitar que se origine fallas en los ejes de los neumáticos.

Considerando los conceptos estudiados en la sección 2.2.10, para la elevación del mecanismo se pensó en posibilidades de actuadores como, los neumáticos, mecánicos eléctricos o también implementar un mecanismo bipedestador de autopropulsión manual, por lo que para facilitar el análisis de la trayectoria que debe tener el actuador fue necesario realizar los tres diseños que se indican en la Figura 2-3, el diseño de la Figura 2-3a, fue analizado con un actuador neumático, el cual acciona al mecanismo bipedestador y este a la vez acciona a la estructura del asiento y espaldar, haciendo pivote en el punto (A), la limitación con este diseño incurre en la dificultad de articular un mecanismo al espaldar que permita mantenerlo fijo a 90 grados mientras realiza la bipedestación.

En la Figura 2-3b se analizó la posibilidad de implementar un actuador mecánico eléctrico, que permita elevar el asiento y a la vez mediante un mecanismo adicional mantener el espaldar fijo a 90 grados mientras bipedesta. En la Figura 2-3c, se analizó posibilidad de una estructura que permita bipedestar de forma manual e incorporar una viga transversal (B), con la finalidad que sobre esta descansen la estructura del asiento, espaldar, apoya cabeza y el peso del usuario, cuando se encuentre en posición de sentado.

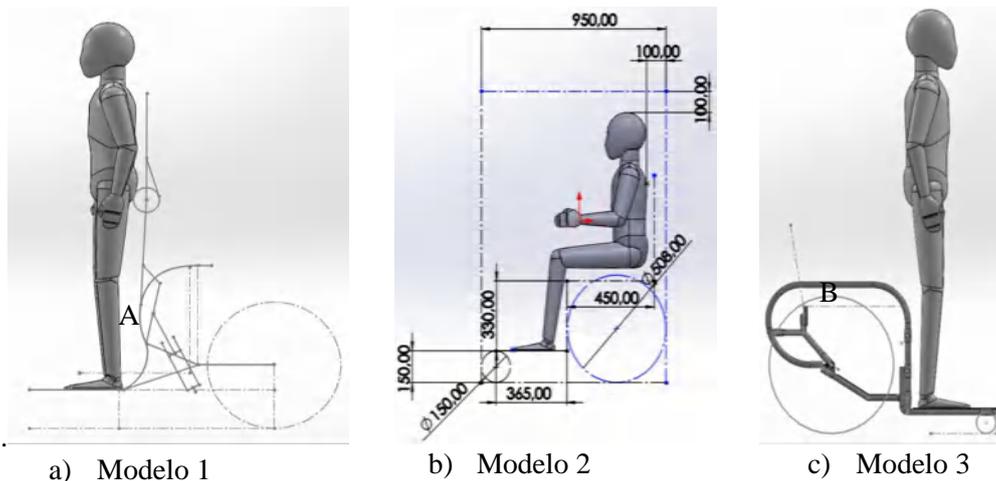


Figura 2-3: Análisis del mecanismo bipedestador y actuadores
Fuente: Autor

Una vez establecido estos análisis y considerando los conceptos y recomendaciones de actuadores descritos en la sección 2.2.10, se realizó una evaluación de los mismos en base a las características que se indican en la Tabla 2-3.

Tabla 2- 3: Parámetros de selección del actuador

Características	Tipo de actuador		
	Neumático	Mecánico -eléctrico	Manual
Costes de operación	Caro	Barato	Barato
Espacio disponible	Conveniente	Conveniente	Conveniente
Ecológicos	NO	SI	SI
Presenta Fugas de funcionamiento	SI	NO	NO
Fuente de conexión	Externa	Propia	NO
Control de mando	Eléctrico	Eléctrico	Manual

Fuente: Autor

Cada característica se impuso evaluar sobre un total de dieciocho puntos en vista que son seis características, por lo que es sobre tres puntos la más viable y sobre un punto la menos viable, como se describe en la Tabla 3-3.

Tabla 3- 3: Valoración establecida.

Características	Viab (3)		Tipo de actuador	
	No Viab (1)	Neumático	Mecánico -eléctrico	Manual
Costes de operación	3	1	3	3
Espacio disponible	3	3	3	3
Ecológicos	3	1	3	3
Presenta Fugas de funcionamiento	3	1	3	3
Fuente de conexión	3	1	3	3
Control de mando	3	3	3	1
	18	10	18	16

Fuente: Autor

Como se observa en la Tabla 3-3, el actuador que obtuvo una mayor valoración fue el modelo dos con dieciocho puntos sobre dieciocho, por presentar costo bajo de operación, espacio disponible, ecológico, no presenta fugas de funcionamiento, no requiere de toma externa para el accionamiento, hasta este punto son viables los modelos dos y tres, pero puede ser el caso que el usuario tenga discapacidad en las extremidades superiores o debido a la edad no pueda ejercer fuerzas para accionar el mecanismo y para contrarrestar todos estos factores se puntuó con la valoración de tres al modelo dos, siendo este el mejor puntuado y por ende el seleccionado.

3.1.2. Determinación del centro de gravedad respecto al sistema de referencia

Haciendo referencia a las cotas mostradas en la Figura 29-2, correspondiente al método de segmentos se aproximó los centros de gravedad de cada segmento corporal de la persona latinoamericana modelada para este estudio en posición bipedestada, respecto al sistema de referencia como se indica en la Figura 3-3b, considerando la Tabla 5-2 y aplicando las ecuaciones (1 y 2), como se describe a continuación.

Coordenada en X:

$$X = x_1(1,5\%) + x_2(4,3\%) + x_3(10,3\%) + x_4(50,7\%) + x_5(2,6\%) + x_6(1,6\%)$$

$$X = 43.18(1.5\%) + 33.99(4.3\%) + 36.48(10.3\%) + 35.14(50.7\%) + 32.76(2.6\%) + 31.93(1.6\%)$$

$$X = 25.045mm = 2.505cm$$

Coordenada en Y:

$$Y = y_1(1,5\%) + y_2(4,3\%) + y_3(10,3\%) + y_4(50,7\%) + y_5(2,6\%) + y_6(1,6\%)$$

$$Y = 2.32(1.5\%) + 29.69(4.3\%) + 70.26(10.3\%) + 111.83(50.7\%) + 125.62(2.6\%) + 101.07(1.6\%)$$

$$Y = 70.129mm = 7.013cm$$

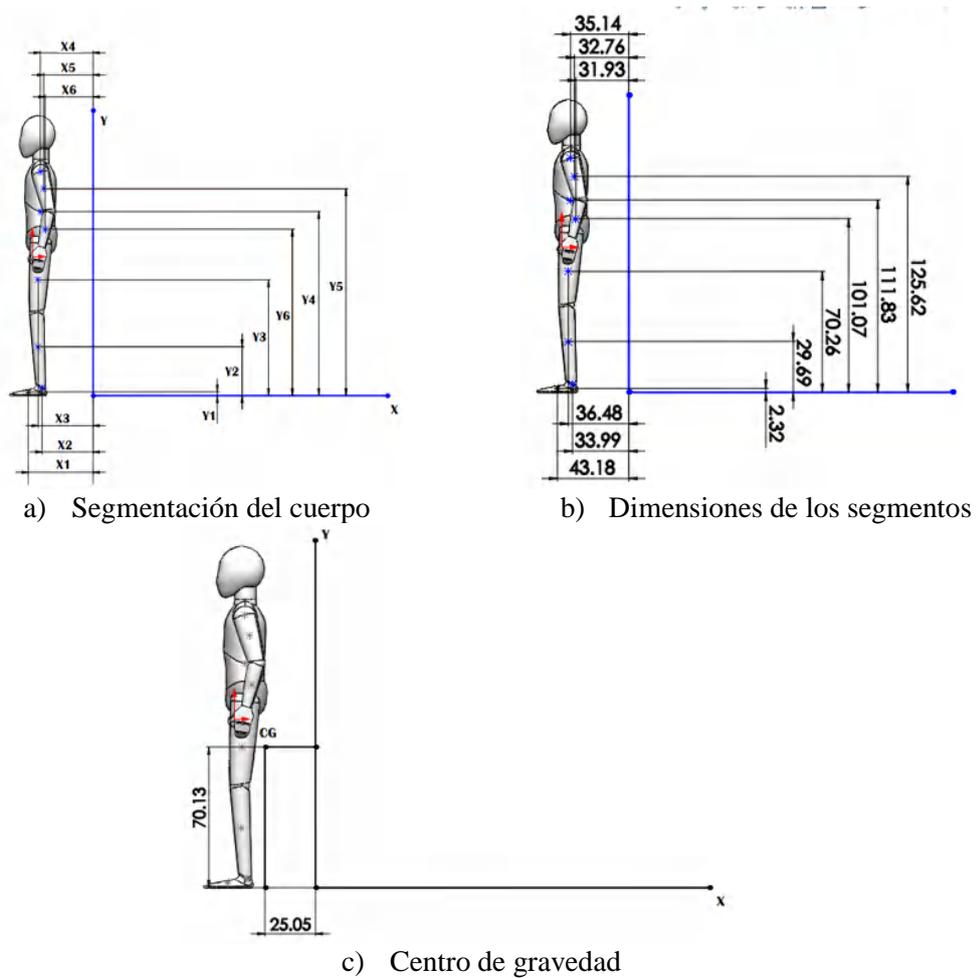


Figura 3-3: Segmentación del cuerpo y centro de gravedad

Fuente: (Urrutia Urrutia, 2016)

3.1.3. Modelado del prototipo

Una vez obtenido el modelo del diseño claro y seleccionado el actuador lineal, el siguiente paso fue considerar las dimensiones de los valores promedios de hombres y mujeres, estudiadas en la Tabla 3-2, en posición de sentado para una persona de estatura promedio de 1.70m, según DIN 33402 parte 2 junio 1981, de la sección 2.2.5, con las cuales se realizó la digitalización de todos los componentes de la silla haciendo uso del software SolidWorks, como se indica en el conjunto

de vistas principales de la figura 35, incluyendo la vista isométrica del modelo final que se observa en la Figura 4-3d.

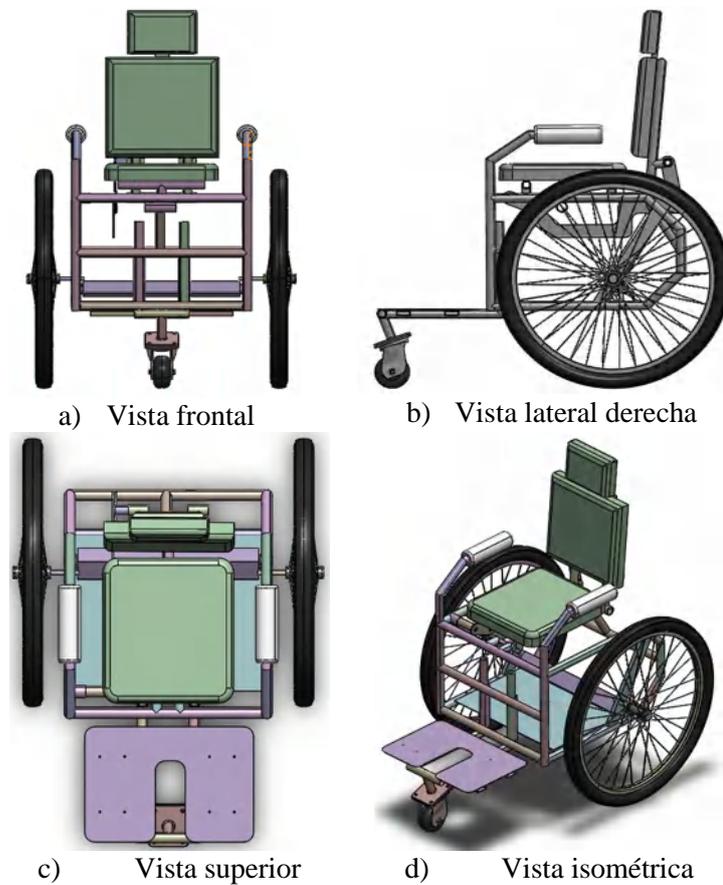
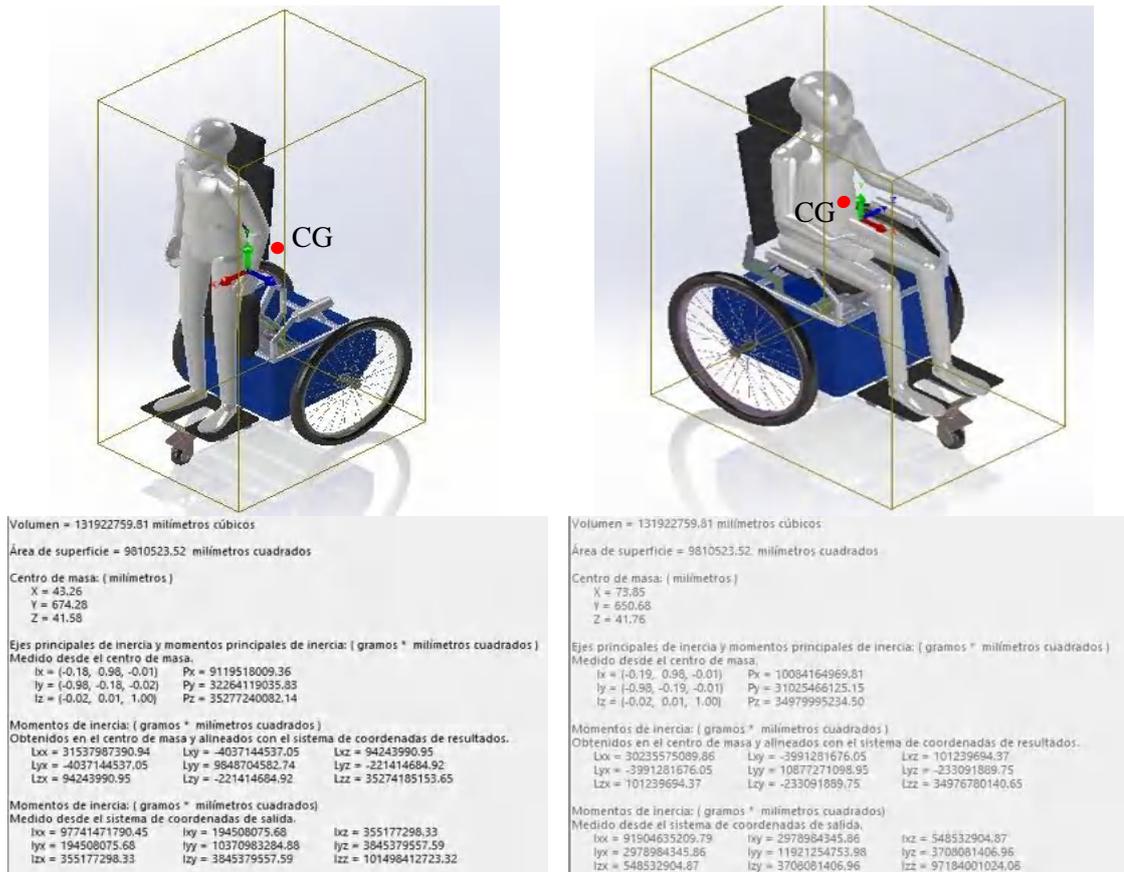


Figura 4-3: Silla bipedestadora
Fuente: Autor

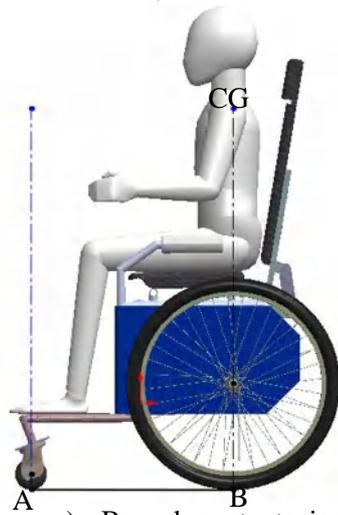
➤ Determinación del centro de gravedad conjunto silla y usuario

Una vez digitalizada por completo la silla, se volvió a calcular el centro de gravedad como se indica en la Figura 3-3a y Figura 3-3b, para en base a este estudio determinar la base de sustentación óptima de la silla y por ende ubicar correctamente la distancia entre ejes de los neumáticos posteriores, así como también los momentos de inercia respectivamente, la Figura 3-3c muestra la zona de la base de sustentación (en el piso) limitada por las líneas de proyección (A-B), dentro de la cual se proyecta el centro de gravedad para garantizar estabilidad, caso contrario provocaría un volcamiento, como se indica en la Figura 5-3d, donde se determinó que a partir de una rampa con inclinación igual 46.5° , la proyección del centro de gravedad sobre la base de sustentación comienza a salir de la zona mencionada, esto indica que a partir de este punto se inicia a producirse el volcamiento.

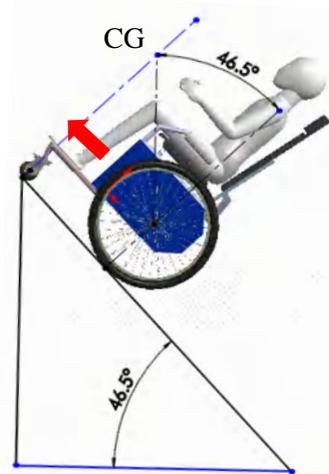


a) Conjunto en posición bipedestada

b) Conjunto en posición de sentado



c) Base de sustentación



d) Determinación del punto de vuelco

Figura 5-3: Determinación del centro de gravedad del conjunto silla – usuario

Fuente: Autor

Mediante la ecuación (3) se determinó el punto de vuelco de la silla en posición de sentado, considerando el porcentaje establecido en la Tabla 5-2 para cada segmento, una fuerza de 1.5kgf por dos pies más, el peso de dos pantorrillas por 4.3kgf y estos valores sumados al peso de la plataforma que es de 1.27kgf dando una fuerza resultante de 12.870 Kgf, entonces el peso que se encuentra distribuido en el asiento es el peso total (100kgf) menos el peso de los pies y

pantorrillas (100kgf- 11.600kgf=88.400kgf) esta fuerza se divide para dos neumáticos (42.200kgf)

$$R = \frac{(F_{Z_{R2i}} + F_{Z_{R1i}}) - (F_{Z_{L2i}} + F_{Z_{L1i}})}{\sum F_z}$$

$$R = \frac{(42.200kgf + 12.870kgf) - (42.200kgf + 12.870kgf)}{42.200kgf + 42.200kgf + 12.870kgf +} = 0$$

Este resultado se encuentra dentro del intervalo $1 > R > -1$ estudiado en la sección 2.2.11, lo cual indica que no hay pérdida de contacto de los neumáticos con el piso ya que el centro de gravedad de la silla se encuentra cercano al mismo y el vuelco de esta se podría producir por acción de un empuje lateral o frontal debido a una mala maniobra de la persona que ayuda a movilizarse al usuario en la silla o por efecto de rampas con excesivo grado de inclinación, como se indica gráficamente en la Figura 5-3d, donde se observa una rampa de 46.5° aquí el centro de gravedad tiende a salir de la base de sustentación debido a la inclinación del plano provocándose el volcamiento.

3.1.3.1. Diseño mecánico de los elementos de la estructura

Considerando el modelo que se indica en la Figura 4-3d y los conceptos de diseño estudiados en el capítulo II, se realizaron los cálculos respectivos para seleccionar el tipo de tubo correspondiente, para cada componente que conforma la estructura de la carrocería que se indica en la Figura 6-3.

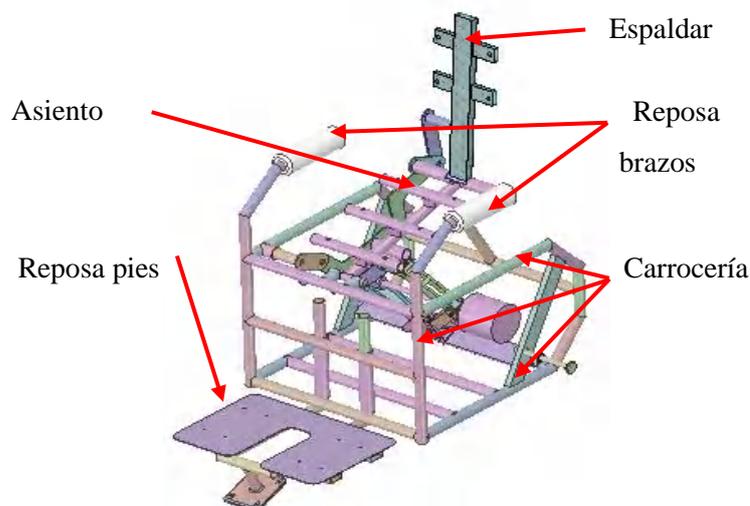


Figura 6-3: Sistemas mecánicos de la estructura
Fuente: Autor

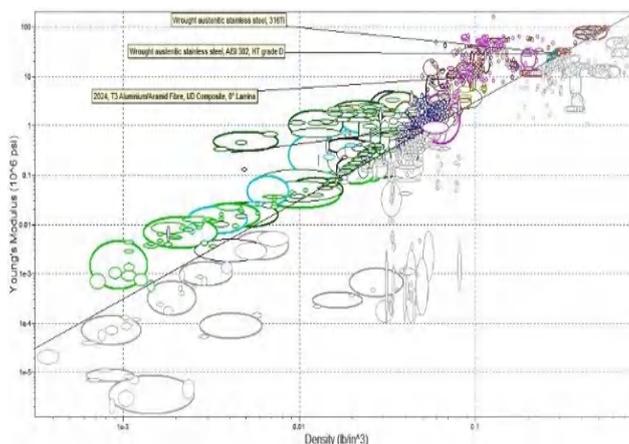
➤ Diseño de la estructura del asiento

En el presente estudio se busca optimizar la masa ya que la silla debe ser liviana y resistente, por lo que bajo este criterio se aplicó la fórmula de relación entre la densidad de materiales y módulo de Young ($\frac{\rho}{E^3}$), para realizar una pre selección de materiales, haciendo uso del software CES EDUPACK, desarrollando dicha ecuación se obtiene la ecuación que se indica a continuación de este párrafo, donde se observa que la pendiente tiene un valor igual a 2, misma que fue insertada en el software para el análisis como se indica en la Figura 7-3a, aquí se puede observar que el software recomienda el aceros inoxidables de bajo contenido en carbono y aluminio.

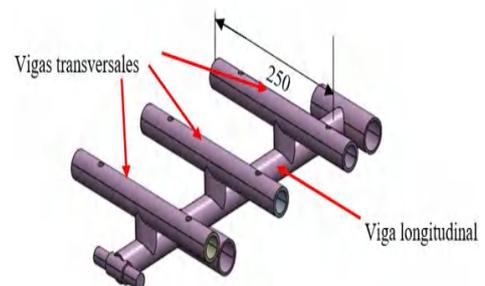
$$\text{Log } E = 2\text{Log } M + 2\text{Log } \rho$$

Mediante este análisis se examinó los catálogos de tubos redondos DIPAC en acero de bajo carbono (acero A36) de los cuales se encontró disponible el acero negro o galvanizado y el acero inoxidable, en base a esto se averiguo los precios y las calidades disponibles en los diferentes almacenes de la ciudad de Riobamba.

Dichos almacenes disponían con los tubos requeridos, con precios estimados de dos dólares americanos el metro de tubo redondo en acero negro o galvanizado y cuatro dólares americanos el metro de tubo redondo en acero inoxidable como se indica en la cotización de precios en el anexo 5. Como el presente estudio busca abaratar costes, se optó por realizar el cálculo considerando el acero negro cuyo límite de fluencia es $S_y = F_y = 250\text{Mpa} = 2549 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 36259.43\text{lb/plg}^2$.



a) Pre selección del material



b) Estructura del asiento

Figura 7-3: Consideraciones para el diseño

Fuente: Autor

Para las vigas transversales y longitudinales que se muestra en la Figura 7-3b, se consideró los siguientes parámetros descritos en la sección 2.2.21. (Espin Guerrero, 2018)

PM= 100kg

P_R = El peso máximo se distribuye para cuatro vigas, entonces aplicando la ecuación (12) se tiene:

$$P_R = \frac{\text{Peso maximo de la persona}}{\text{Número de vigas}} = \frac{100kg}{4} = 25kg$$

L= la longitud crítica que corresponde al ancho de las vigas del asiento como se indica en la Figura 8-3, es igual a 250mm=25cm, por tanto, aplicando la ecuación (14) la carga distribuida es:

$$q = \frac{P_R}{L_c} = \frac{25kg}{25cm} = 1 \frac{kg}{cm}$$

El límite de fluencia del Acero negro o galvanizado, $S_y = F_y = 250Mpa = 2549 \frac{kg}{cm^2} = 36259.43lb/plg^2$

Factor de diseño $n_d = 1,5$

Diagrama de cuerpo libre (DCL)

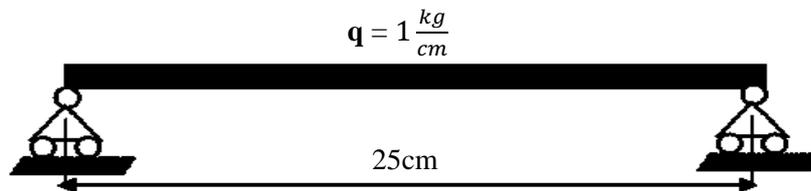


Figura 8-3: Estructura del asiento
Fuente: Autor

Las cargas críticas fueron determinadas en base a la Figura 8-3, la viga está sometida a esfuerzos de flexión, por lo que el momento crítico se determinó mediante la ecuación (17):

$$M = \frac{ql^2}{8}$$

Reemplazando valores y resolviendo se tiene

$$M = \frac{1 \frac{kg}{cm} (25cm)^2}{8}$$

$$M = 78.125kg * cm$$

Para el cálculo del esfuerzo permisible F_b , se aplicó la teoría de la energía de la distorsión (esfuerzo de Von Mises) y un factor de diseño $n_d = 1.5$ el esfuerzo permisible se simplifica y se calcula mediante la ecuación (20).

$$F_b = 0.66 * S_y$$

Sustituyendo valores:

$$F_b = 0,66 * 2549 \frac{kg}{cm^2}$$

Por lo tanto, se tiene:

$$F_b = 1682.340 \frac{kg}{cm^2}$$

El módulo de sección fue calculado aplicando la ecuación (21):

$$S_x = \frac{M}{F_b}$$

Entonces:

$$S_{xreq} = \frac{78.125kg * cm}{1682.340 \frac{kg}{cm^2}}$$

$$S_{xreq} = 0,046cm^3$$

$$S_{xreq} \approx 0,1cm^3$$

Por tanto, con el módulo de sección calculado ($S_{xreq} \approx 0,1cm^3$) y la Tabla 4-3, se seleccionó un tubo de $\frac{3}{4}$ de pulgada en acero galvanizado con las características que se señalan en el recuadro de color rojo.

Tabla 4- 3: Especificaciones generales del tubo redondo

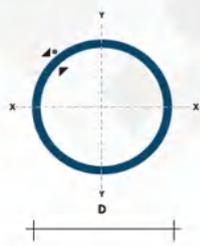


Especificaciones Generales:

Norma: NTE INEN 2415
Calidad: JS 3141 SPCC SD
Acabado: Acero negro o galvanizado
Largo normal: 6,00m y medidas especiales
Dimensiones: Desde 1/2" a 2 1/2"
Espesores: Desde 0,80mm a 1,50mm

NOMENCLATURA

Area = Área de la sección transversal del tubo, cm²
I = Momento de Inercia de la sección, cm⁴
W = Módulo resistente de la sección, cm³
r = Radio de giro de la sección, cm



Diámetro Exterior (D)	Espesor		Peso		Propiedades		
	Pulg	mm	Kg/m	cm	cm ⁴	cm ³	cm
1/2	12,70	0,95	1,86	0,35	0,06	0,09	0,41
		1,10	2,10	0,40	0,07	0,11	0,41
		1,50	2,82	0,53	0,08	0,13	0,39
5/8	15,88	0,95	2,28	0,44	0,12	0,15	0,51
		1,10	2,64	0,51	0,14	0,18	0,52
		1,50	3,54	0,68	0,18	0,22	0,51
3/4	19,05	0,95	2,70	0,54	0,22	0,23	0,64
		1,10	3,18	0,62	0,25	0,28	0,63
		1,50	4,20	0,83	0,32	0,34	0,62
7/8	22,22	0,95	3,18	0,63	0,36	0,32	0,75
		1,10	3,66	0,73	0,41	0,37	0,75
		1,50	4,92	0,98	0,53	0,47	0,74
1	25,40	0,95	3,60	0,73	0,65	0,43	0,87
		1,10	4,20	0,84	0,62	0,49	0,86
		1,50	5,64	1,13	0,81	0,64	0,85
1 1/4	31,75	0,95	4,50	0,92	1,09	0,69	1,18
		1,10	5,22	1,06	1,24	0,78	1,08
		1,50	7,08	1,43	1,63	1,03	1,07
1 1/2	38,10	0,95	5,40	1,11	1,91	1,00	1,31
		1,10	6,24	1,28	2,19	1,15	1,31
		1,50	8,46	1,72	2,89	1,52	1,30
1 3/4	44,45	0,95	6,24	1,30	3,07	1,38	1,54
		1,10	7,26	1,50	3,52	1,16	1,53
		1,50	9,84	2,02	4,67	2,10	1,52
1 7/8	47,63	0,95	6,78	1,40	3,80	1,60	1,65
		1,10	7,80	1,61	4,35	1,83	1,64
		1,50	10,26	2,17	5,79	2,43	1,63
2	50,80	0,95	7,20	1,49	4,62	1,82	1,76
		1,10	8,34	1,72	5,30	2,09	1,76
		1,50	10,80	2,32	7,06	2,78	1,74
2 3/8	60,33	1,50	13,20	2,77	12,00	3,98	2,08
2 1/2	63,50	1,50	14,04	2,92	14,05	4,42	2,19

Fuente: (DIPAC, 2016)

Con los datos del tubo se calculó el módulo de sección redonda del mismo, utilizando la ecuación (22):

$$W = Z = \frac{\pi}{32} x \frac{D^4 - d^4}{D}$$

Sustituyendo valores y resolviendo se tiene:

$$W = \frac{\pi}{32} x \frac{(1,905^4 - 1,605^4)cm^4}{1,905cm}$$

$$W = 0,337cm^3$$

La validación del tubo se realizó mediante el análisis de la inecuación (23).

$$S_{xreq} < S_{tab}$$

$$0,1 < 0,337$$

Aquí se puede apreciar que el módulo de sección requerido es menor que el módulo de sección dado en tablas, por tanto, el tubo redondo seleccionado es el correcto y apropiado de $\phi_{ext} = 19.05\text{mm}$, $e=1.50\text{mm}$

➤ Diseño del apoya brazos

Para el diseño del apoya brazos de igual forma se considero, los conceptos estudiados en el capitulo dos.

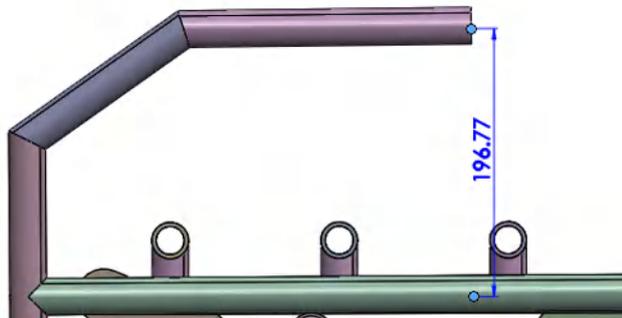


Figura 9-3: Reposo brazos
Fuente: Autor

Fuerza requerida de empuje de cada mano = 15kg

Longitud = 196.77mm = 19.677cm

Límite de fluencia de Acero negro, $S_y = F_y = 2549 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 36259.43 \text{lb/plg}^2$

Factor de diseño $n_d = 1,5$

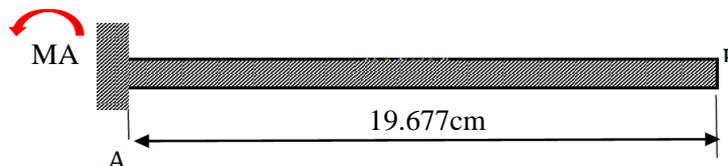


Figura 10-3: D.C.L Reposo brazos
Fuente: Autor

Determinación de las cargas críticas:

La viga es en voladizo y carga puntual sometida a flexión, como se indica en la Figura 10-3, el momento crítico se determina mediante la ecuación (18).

$$M = FxL$$

$$M = 15kg \times 19.677cm$$

$$M = 295.155kg * cm$$

El cálculo del esfuerzo permisible aplicando la ecuación (20), sustituyendo y resolviendo se tiene:

$$F_b = 0,66 S_y$$

Por tanto:

$$F_b = 0,66 * 2549 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_b = 1682.340 \frac{kg}{cm^2}$$

El cálculo del módulo de sección se determinó mediante la ecuación (21):

$$S_x = \frac{M}{F_b}$$

$$S_x = \frac{295.155kg * cm}{1682.340 \frac{kg}{cm^2}}$$

$$S_{xreq} = 0,175cm^3$$

Selección del perfil:

Con el módulo de sección calculado y mediante el catálogo de la Tabla 4-3, se seleccionó un tubo redondo con las características que se indica en la Tabla 5-3. $\emptyset = 3/4"$, $e = 1.5mm$

Tabla 5- 3: Características del tubo redondo 3/4''

Díametro \emptyset	Espesor e	Área Ag	Radio de Giro ry	Módulo de Sección St
3/4''	1.5 mm	0.83 cm ²	0.62 cm	0.34 cm ³

Fuente: (DIPAC, 2016)

Para la validez del tubo seleccionado se comprueba mediante la inecuación (23).

$$S_{Xreq} = 0,175cm^3$$

$$S_{Xtab} = 0,34cm^3$$

$$S_{Xreq} < S_{Xtab}$$

Como se puede ver el módulo de sección requerido es menor que el módulo de sección de tablas entonces se puede decir que el tubo seleccionado es el correcto.

➤ Diseño del espaldar

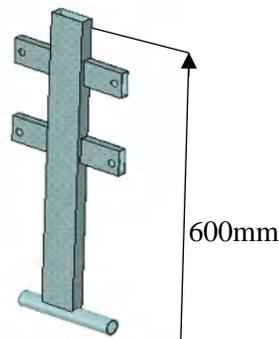


Figura 11-3: Espaldar
Fuente: Autor

Consideración para la viga longitudinal

Tabla 6-3: Obtención del centro de gravedad por el método de segmentos

Segmento del cuerpo	Porcentaje peso Segmental %	Valor de la coordenada x	Producto (x)(%/am)	Valor de la coordenada Y	Producto (y)(%/am)
Pie	1,5%	x1	x1(1,5%)	y1	y1(1,5%)
Pantorrilla	4,3%	x2	x2(4,3%)	y2	y2(4,3%)
Muslo	10,3%	x3	x3(10,3%)	y3	y3(10,3%)
Tronco	50,7%	x4	x4(50,7%)	y4	y4(50,7%)
Brazo	2,6%	x5	x5(2,6%)	y5	y5(2,6%)
Antebrazo	1,6%	x6	x6(1,6%)	y6	y6(1,6%)

Fuente: (Urrutia Urrutia, 2016)

Peso máximo del tronco de una persona (50,7% del peso máximo de una persona, ver Tabla 6-3), entonces $50,7\% * 100\text{kg} = 50.7\text{kg}$

Peso requerido = Carga crítica que se ubica sobre cada viga, por tanto

$$P_R = \frac{50.7\text{kg}}{1} = 50.7\text{kg}$$

Longitud = $600\text{mm} = 60\text{cm}$

Carga distribuida $q = \frac{50.7\text{kg}}{60\text{cm}} = 0.845 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$

Límite de fluencia de Acero negro, $S_y = F_y = 2549 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 36259.43\text{lb/plg}^2$

Factor de diseño $n_d = 1,5$

Diagrama de cuerpo libre

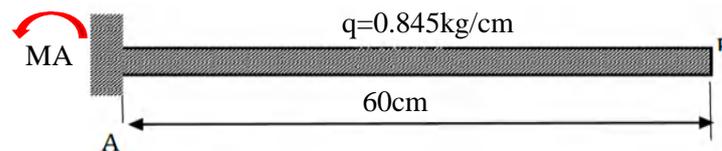


Figura 12-3: D.C.L. de la estructura del espaldar
Fuente: Autor

Determinación de cargas críticas:

La Figura 12-3 es una viga en voladizo sometida a flexión por lo que el momento crítico se determinó mediante la ecuación (18).

$$M = \frac{ql^2}{2}$$

$$M = \frac{0.845 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} (60)^2}{2} = 1440\text{kg} * \text{cm}$$

El esfuerzo permisible se determinó mediante la ecuación (20):

$$F_b = 0,66 S_y$$

$$F_b = 0,66 * 2549 \frac{kg}{cm^2} = 1682.340 \frac{kg}{cm^2}$$

El módulo de sección se determinó mediante la ecuación (21):

$$S_x = \frac{M}{F_b} = \frac{1440Kg * cm}{1682.340 \frac{kg}{cm^2}} = 0.856cm^3$$

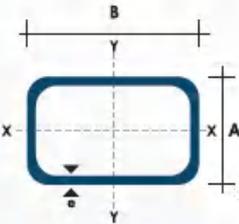
En base al valor calculado de $S_x = 0.856cm^3$, se buscó un tubo rectangular en el catálogo de la serie DIPAC como se indica en la Tabla 7-3.

Tabla 7-3: Especificaciones generales del tubo rectangular
RECTANGULAR



Especificaciones Generales:

Norma	NTE INEN 2415
Calidad:	SAE J 403 1008
Acabado:	Acero negro o galvanizado
Largo normal:	6.00 m y medidas especiales
Dimensiones:	Desde 20mm x 40mm a 50mm x 150mm
Espesores:	Desde 1.20mm a 3.00mm



Dimensiones				Área cm ²	Ejes Y-Y			Ejes X-X		
A mm	B mm	Espesor (e) mm	Peso Kg/m		I cm ⁴	W cm ³	i cm	I cm ⁴	W cm ³	i cm ³
20	40	1,2	1,09	1,32	2,61	1,30	1,12	0,88	0,88	0,83
20	40	1,5	1,35	1,65	3,26	1,63	1,40	1,09	1,09	0,81
20	40	2,0	1,78	2,14	4,04	2,02	1,37	1,33	1,33	0,79
25	50	1,5	1,71	2,10	6,39	2,56	1,74	2,19	1,75	1,02
25	50	2,0	2,25	2,74	8,37	3,35	1,75	2,80	2,24	1,01
25	50	3,0	3,30	4,14	12,56	5,02	1,74	3,99	3,19	0,99
30	50	1,5	1,88	2,25	7,27	2,91	1,80	3,32	2,21	1,21
30	50	2,0	2,41	2,94	9,52	3,81	1,80	4,28	2,85	1,21
30	50	3,0	3,30	4,21	12,78	5,11	1,74	5,66	3,77	1,16
30	70	2,0	3,03	3,74	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25
30	70	3,0	4,48	5,41	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20
40	60	1,5	2,29	2,91	14,90	4,97	2,26	7,94	3,97	1,65
40	60	2,0	3,03	3,74	18,08	6,13	2,22	9,81	4,90	1,62
40	60	3,0	4,48	5,41	25,31	8,44	2,16	13,37	6,69	1,57
30	70	1,5	2,34	2,91	18,08	5,17	2,49	4,76	3,17	1,28
30	70	2,0	2,93	3,74	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25
30	70	3,0	4,25	5,41	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20
40	80	1,5	2,76	3,74	31,75	7,94	2,91	10,77	5,39	1,70
40	80	2,0	3,66	4,54	37,32	9,33	2,87	12,70	6,35	1,67
40	80	3,0	5,42	6,61	52,16	13,04	2,81	17,49	8,75	1,63
50	100	2,0	4,52	5,74	74,94	14,99	3,61	25,65	10,26	2,11
50	100	3,0	6,71	8,41	106,34	21,27	3,56	35,97	14,39	2,07
50	150	2,0	6,17	7,74	207,45	27,66	5,18	37,17	14,87	2,19
50	150	3,0	9,17	11,41	298,35	39,78	5,11	52,54	21,02	2,15

Fuente: (DIPAC, 2016)

Por lo tanto, se seleccionó un tubo rectangular de 20mm de ancho y 40mm de largo con espesor de 2mm cuya validación se indica a continuación.

$$S_{xreq} < S_{tab}$$

$$0,856 < 0,88$$

Como la sección requerida es menor que la sección tabulada la selección del tubo es correcta

➤ Diseño de las vigas longitudinales y transversales

Para este diseño se tiene dos vigas longitudinales superiores por lo que se calculó como se describe a continuación:

Peso máximo de una persona = 100kg

Peso generado por el material del asiento, espaldar y platina impulsora = 3.440kg

Peso total = 103.440kg

Peso requerido es la carga que se ubica sobre cada viga en este caso son dos, por tanto.

$$Pr = 103.440\text{kg} / 2 = 51.720\text{kg}$$

Longitud = 453.86mm=45.386cm

$$\text{Carga distribuida} = q = \frac{51.720\text{kg}}{45.386\text{cm}} = 1.140 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$\text{Límite de fluencia de Acero negro, } S_y = F_y = 2549 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 36259.43\text{lb/plg}^2$$

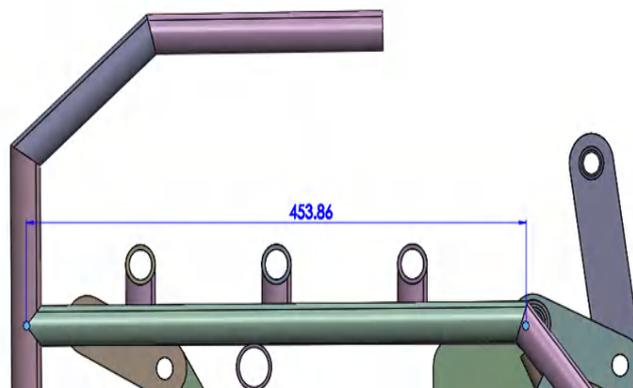


Figura 13-3: Vigas longitudinales
Fuente: Autor

- Consideraciones para las vigas transversales superiores (3vigas).

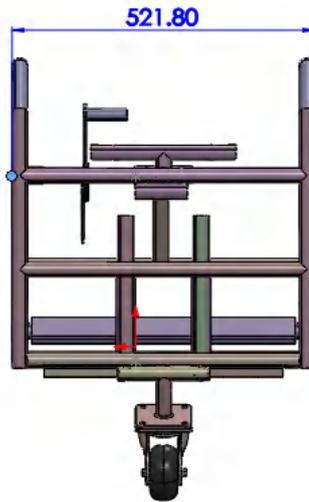


Figura 14-3: Vigas transversales superiores
Fuente: Autor

Peso máximo de una persona = 100kg

Peso generado por el material del asiento, espaldar y platina impulsora = 3.440kg

Peso total = 103.440kg

Peso requerido es la carga que se ubica sobre cada viga en este caso son dos, por tanto.

$$Pr = 103.440\text{kg} / 3 = 34.480\text{kg}$$

Longitud = 521.80mm = 52.180cm

$$\text{Carga distribuida } q = \frac{34.480\text{kg}}{52.180\text{cm}} = 0.661 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$\text{Límite de fluencia de Acero negro, } S_y = F_y = 2549 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 36259.43\text{lb/plg}^2$$

- Consideraciones para las dos vigas longitudinales inferiores.



Figura 15-3: Vigas longitudinales inferiores
Fuente: Autor

Peso máximo de una persona = 100kg

Peso generado por el material del asiento, espaldar, platina impulsora, 3.440kg gato mecánico tijera eléctrica 5.2kg, batería 10kg, tubería de la estructura superior 30kg, peso de la persona 100kg, sumando da un total de 148.640kg.

Peso total = 148.640kg

El peso requerido = $148.640\text{kg}/2 = 74.320\text{kg}$

Longitud = 451,42mm = 45.142cm

Carga distribuida $q = \frac{74.320\text{kg}}{45.142} = 1.646 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$

Límite de fluencia de Acero negro, $S_y = F_y = 2549 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 36259.43\text{lb}/\text{plg}^2$

➤ Consideraciones para las cuatro vigas transversales inferiores

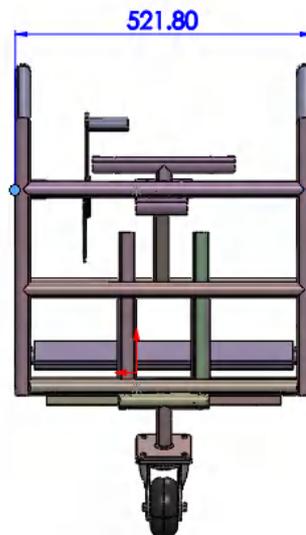


Figura 16-3: Vigas transversales inferiores
Fuente: Autor

Peso máximo de una persona =100kg

Peso generado por el material del asiento, espaldar, platina impulsora, 3.440kg gato mecánico tijera eléctrica 5.2kg, batería 10kg, tubería de la estructura superior 30kg dando un total de 48.640kg

Peso total = 148.640kg

Peso requerido $P_r = 148.640\text{kg}/4 = 37.160\text{kg}$

Longitud = 521.80mm = 52.180cm

Carga distribuida $q = 37.160\text{kg}/52.180\text{cm} = 0.712\text{kg}/\text{cm}$

Límite de fluencia de Acero negro, $S_y = F_y = 2549 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 36259.43\text{lb}/\text{plg}^2$

Para todos los diseños de los elementos se consideró un factor de diseño $n_d = 1.5$ y el diagrama de cuerpo que se indica en la Figura 17-3.



Figura 17-3: D.C.L. Correspondiente a las vigas longitudinales y transversales
Fuente: Autor

Con las consideraciones antes calculadas se realizó los cálculos de diseño para vigas longitudinales como transversales y estas se muestran de forma resumida en la Tabla 8-3.

Tabla 8-3: Cálculos resumidos para la selección del perfil tubular redondo

Tipo de viga	$q=(Kg/cm)$	$L(cm)$	$M = \frac{ql^2}{8}$ $Kg*cm$	$Fb=$ Kg/cm^2	$S_x req = \frac{M}{Fb}$ cm^3	Diámetro Seleccionado (Plg)	S_x Tablas cm^3	Cumple $S_x req < S_x Tab$
Longitudinales superiores	1.140	45.386	293.457	1682.340	0.174	3/4"	0,34	SI
Transversales superiores	0.661	52.180	224.967	1682.340	0.134	3/4"	0,34	SI
Longitudinales inferiores	1.646	45.142	419.277	1682.340	0.249	3/4"	0,34	SI
Transversales inferiores	0.712	52.180	242.325	1682.340	0.144	3/4"	0,34	SI

Fuente: Autor

Selección del perfil:

Considerando el módulo de sección requerido y mediante el catálogo mostrado en la Tabla 4-3, se seleccionó un tubo redondo 3/4", con las características que se indican en la Tabla 9-3.

Tabla 9-3: Características del tubo redondo 3/4"

Diámetro \emptyset	Espesor e	Área A_g	Radio de Giro r_y	Módulo de Sección S_t
3/4"	1,5 mm	0,83 cm ²	0,62 cm	0,34 cm ³

Fuente: (DIPAC, 2016)

Como el módulo de sección requerido es menor que el módulo de sección tabulado, se dice que el tubo seleccionado es el correcto. Por tanto, el tubo seleccionado y apropiado para todas las vigas de la estructura es el tubo redondo 3/4" y $e= 1.5mm$

➤ Diseño de las columnas

Para el diseño de las columnas delanteras se consideró de igual forma los conceptos estudiados en el capítulo dos.

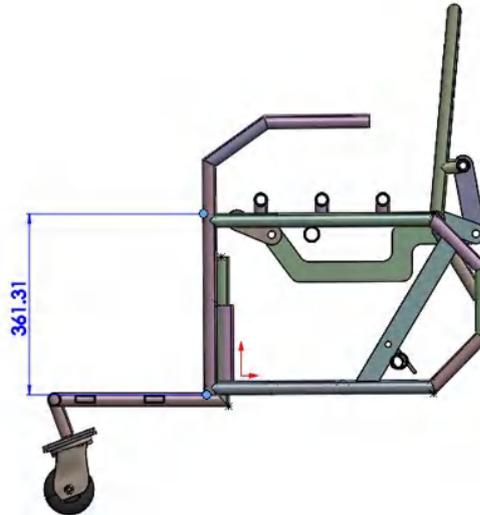


Figura 18-3: Columnas delanteras
Fuente: Autor

Peso máximo de una persona = 100kg

Peso generado por asiento y espaldar material = 3.35kg

Peso total 103.350kg = 227.848lb

Peso requerido = es la carga que se ubica sobre cada viga en este caso son dos columnas posteriores por lo que el peso requerido es:

$$P_R = 103.350\text{kg}/2 = 51.675\text{kg} = 113.924\text{lb}$$

Longitud = 361.31mm = 36.131cm

Límite de fluencia de Acero negro, $S_y = F_y = 2549 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 36259.43\text{lb}/\text{plg}^2$

La estructura esta empotrado – empotrado por ende el factor es $k = 0.5$ como se indica en la Tabla 7-2 de la sección 2.2.31.

En la Tabla 6-2 de la sección 2.2.28, ese ubica el esfuerzo permisible de la coluna en el recuadro rojo $S_y = F_y = 36.259\text{Klb}/\text{plg}^2$, por lo que la relación de esbeltez es $Kl/r = 40$ por lo que $F_a = 23.970$ Kpsi.

La sección admisible se determinó como se detalla a continuación:

$A =$ área del tubo (cm^2)

$P =$ Carga requerida = 51.675kg = 113.924lb

$F_a =$ Esfuerzo permisible = 23.970 Kpsi

$$A = \frac{113.924lb}{23970 \frac{lb}{plg^2}}$$

$$A = 0.005plg^2 = 0.032cm^2$$

Por lo tanto, se seleccionó el tubo en base al área determinada $A = 0.068cm^2$ y mediante la comparación con en el catálogo DIPAC, mostrado en la Tabla 10-3. Con las especificaciones que se indican en la Tabla 11-3.

Tabla 10-3: Especificaciones del tubo redondo

Diámetro Exterior (D)		Espesor		Peso		Propiedades	
		e	P	A	I	W	i
Pulg	mm	mm	Kg/6m	cm	cm4	cm3	cm
3/4	19.05	0.95	2.70	0.54	0.22	0.23	0.64
		1.10	3.18	0.62	0.25	0.26	0.63
		1.50	4.20	0.83	0.32	0.34	0.62

$D =$ Diámetro $e =$ Espesor $A =$ Área $W =$ Módulo de Sección $I =$ Momento de inercia $i =$ Radio de Giro

Fuente: (DIPAC, 2016)

Tabla 11-3: Características del tubo redondo 3/4"

Diámetro	Espesor	Área	Radio de Giro	Módulo de Sección
Ø	e	Ag	ry	St
3/4"	1,5 mm	0,83 cm ²	0,62 cm	0,34 cm ³

Fuente: (DIPAC, 2016)

La verificación del tubo seleccionado se verificó en base a los siguientes parámetros.

$K =$ factor de longitudes efectivas = 1

$L =$ longitud = 361.31mm

$r =$ Radio de giro = 6.2mm

Con estos valores se procedió a seleccionar el esfuerzo permisible como se detalla a continuación.

$$\frac{KL}{r} = \frac{(1)(361.31)}{6.2} = 58.276 \approx 60$$

De acuerdo a la Tabla 6-2, $F_a = 21.280\text{Kpsi}$ por lo que se calcula la carga requerida mediante la siguiente ecuación.

$$P_c = A * F_a$$

$$P_c = 0.129plg^2 * 21.280\text{Kpsi}$$

$$P_c = 2745.120\text{lb}$$

Por tanto, se concluye que $2745.120\text{lb} \gg 113.924\text{lb}$

➤ Consideraciones para las columnas posteriores

Las columnas posteriores fueron analizadas de forma perpendicular a la viga longitudinal inferior, debido al montaje del gato mecánico eléctrico tipo tijera fue necesario adecuar esta estructura a un modelo tipo pentágono como se indica en la Figura 19-3.

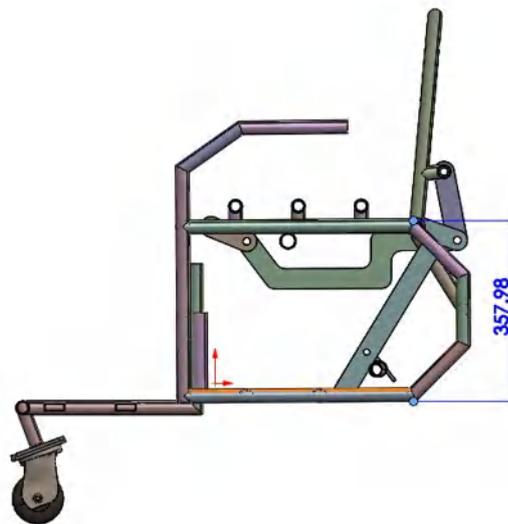


Figura 19-3: Columnas posteriores
Fuente: Autor

Peso máximo de una persona = 100kg

Peso generado por el material del asiento y espaldar = 3.35kg

Peso total = 103.350kg

Peso requerido = la silla se compone de dos columnas circulares por lo que el peso requerido será

$$P_R = 103.350\text{kg} / 2 = 51.675\text{kg} = 113.924\text{lb}$$

$$\text{Longitud} = 357.98\text{mm} = 35.798\text{cm}$$

$$\text{Límite de fluencia de Acero negro, } S_y = F_y = 2549 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 36259.43\text{lb/plg}^2$$

La estructura se encuentra empotrado – empotrado se designó un factor $K = 0,5$ como se indica en la Tabla 7-2 de la sección 2.2.31, con una relación de esbeltez $Kl/r = 40$ por lo que $F_a = 23.970$ Kpsi tal como se indica en la Tabla 6-2.

➤ Consideraciones para el reposapiés (columna)

Peso máximo de una persona = 100kg

Peso requerido = Para este análisis se consideró el peso total de la persona en posición bipedestada 100kg por lo tanto el peso requerido es $100\text{kg}/2 = 50\text{kg} = 110.231\text{lb}$

$$\text{Longitud} = 298.45\text{mm} = 29.845\text{cm}$$

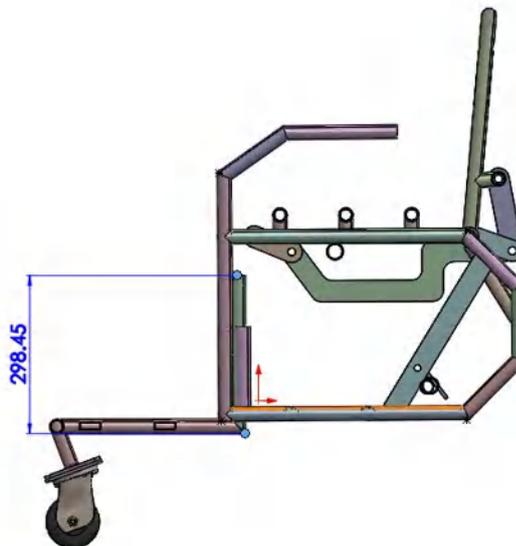


Figura 20-3: Longitud del reposa pies

Fuente: Autor

$$\text{Límite de fluencia de Acero negro, } S_y = F_y = 2549 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 36259.43\text{lb/plg}^2$$

La estructura se encuentra empotrado – empotrado por lo que se designa un factor $k = 0.5$ como se indica en la Tabla 7-2.

La relación de esbeltez $Kl/r = 40$ por lo que $F_a = 23.970$ Kpsi tal como se indica en la Tabla 12-3.



Figura 21-3: D.C.L de la estructura reposa pies

Fuente: Autor

Determinación de los parámetros para el diseño y selección del perfil:

En la Tabla 12-3, se indica de forma resumida los valores de diseño, en base a las consideraciones descritas.

Tabla 12-3: Resultados resumidos correspondientes al diseño de columnas

Columna	Pr (lb)	$A = \frac{P}{F_a}$ (cm ²)	Perfil seleccionado				Comprobación		
			Área Ag plg ²	R. de giro ry (cm)	Módulo de sección St (cm ³)	KL/r	Fa (Kpsi) Tabla 6-2	Pc=AxFa (lb)	Pc>Pr
Delanteras	113.924	0.032	0.129	0.62	0,34	60	21.280	2745.120	SI
Posteriores	113.924	0.032	0.129	0.62	0,34	60	21.280	2745.120	SI
Reposa pies	110.231	0.032	0.129	0,62	0,34	60	21.280	2745.120	SI

Fuente: Autor

El perfil se seleccionó de acuerdo a la sección determinada en la Tabla 10-3 mediante el catálogo de productos DIPAC, un tubo redondo de características $\phi = 3/4"$, $e = 1.5mm$

Tabla 13-3: Especificaciones del tubo redondo

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

D = Diámetro e = Espesor A = Área W = Módulo de Sección I = Momento de inercia i = Radio de Giro

Fuente: (DIPAC, 2016)

Tabla 14-3: Características del tubo

Diámetro Ø	Espesor e	Área Ag	Radio de Giro ry	Módulo de Sección St
3/4"	1,5 mm	0,83 cm ²	0,62 cm	0,34 cm ³

Fuente: (DIPAC, 2016)

➤ Consideraciones para la estructura de bipedestación

Las vigas longitudinales se diseñaron bajo las mismas consideraciones que los cálculos anteriores.

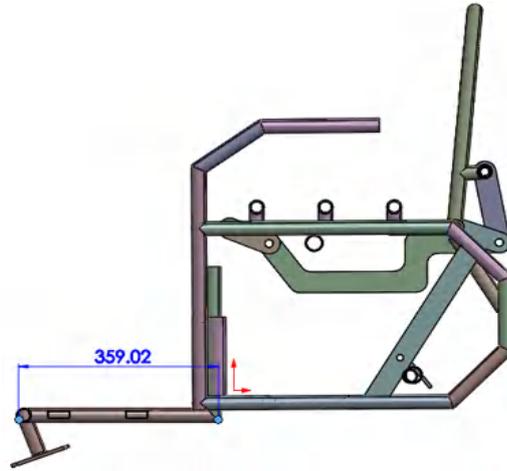


Figura 22-3: Vigas longitudinales de la base de bipedestación
Fuente: Autor

Peso máximo de una persona = 100kg

Peso generado por la plancha de espesor 0.15mm = 1.27kg

Peso total = 101.27kg

El peso requerido = $101.27\text{kg} / 2 = 50.635\text{kg}$

Longitud = 359.02mm = 35.902cm

Carga distribuida $q = \frac{50.635\text{kg}}{35.902\text{cm}} = 1.410 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$

Límite de fluencia de Acero negro, $S_y = F_y = 2549 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 36259.43\text{lb/plg}^2$

$$M = \frac{ql^2}{8}$$

$$M = \frac{(1.410)(35.902)^2}{8}$$

$$M = 227.178\text{kg} * \text{cm}$$

$$F_b = 1682.340\text{Kg/cm}^2$$

$$S_x = \frac{M}{F_b}$$

$$S_{xreq} = \frac{227.178kg * cm}{1682.340Kg/cm^2} = 0.135cm^3$$

De acuerdo al módulo de sección requerido $S_{xreq} = 0.135cm^3$ y en base al catálogo de productos DIPAC que se observa en la Tabla 15-3 se seleccionó un tubo redondo $\varnothing = 3/4"$, $e = 1.5mm$

Tabla 15-3: Especificaciones del tubo

Diámetro Exterior (D)		Espesor		Peso	Propiedades		
		e	P	A	I	W	i
Pulg	mm	mm	Kg/6m	cm	cm4	cm3	cm
3/4	19.05	0.95	2.70	0.54	0.22	0.23	0.64
		1.10	3.18	0.62	0.25	0.26	0.63
		1.50	4.20	0.83	0.32	0.34	0.62

D = Diámetro e = Espesor A = Área W = Módulo de Sección I = Momento de inercia i = Radio de Giro

Fuente: (DIPAC, 2016)

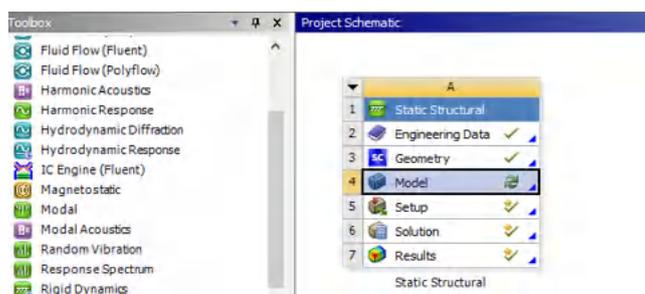
La validación del resultado se indica a continuación, por tanto, el tubo seleccionado es el correcto.

$$S_{xreq} < S_{tab}$$

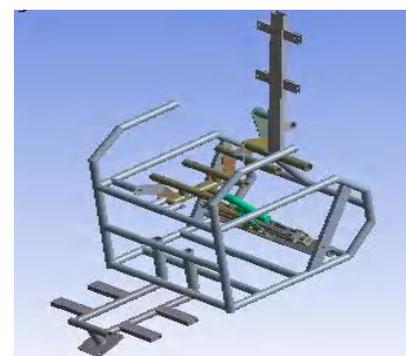
$$0.135 < 0.34$$

3.1.4. Análisis estructural

Seguidamente se realizó el análisis de la estructura de la carrocería mediante el software ANSYS, "Static Structural" como se indica en la Figura 23-3a cargando el diseño como se indica en la en la Figura 23-3b. La silla es de doble servicio por lo que se realizó un análisis independiente primero para la posición de sentado y el segundo análisis aplicando la misma fuerza, pero en la base de bipedestación.



a) Modulo static structural



b) Diseño

Figura 23-3: Pasos para el análisis de la estructura

Fuente: Autor

Luego de esto se selecciona el material A36 como se indica en la Figura 24-3.

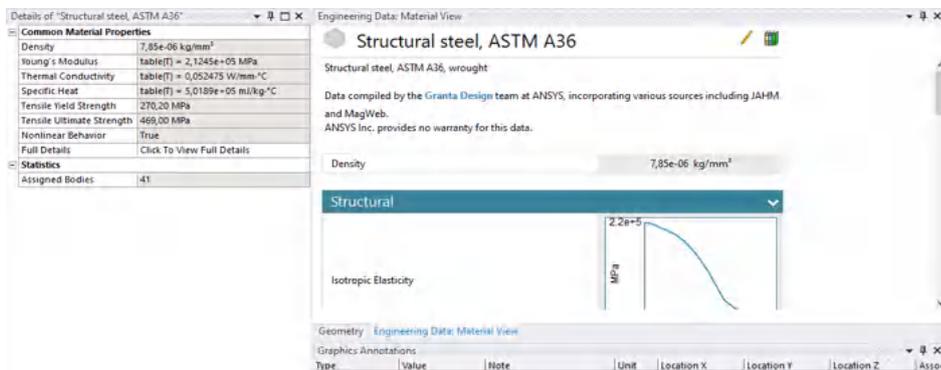
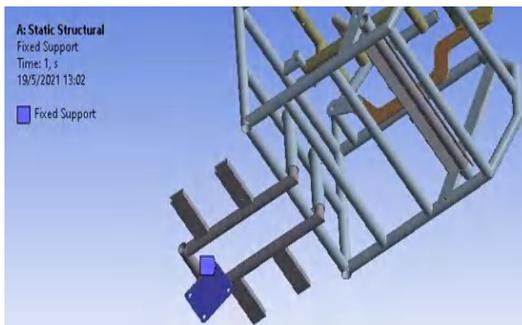


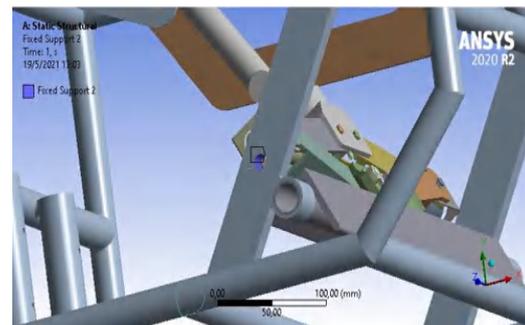
Figura 24-3: Selección del material

Fuente: Autor

Una vez seleccionado el material se procedió a fijar los elementos de la estructura como se indica en la Figura 25-3a y Figura 25-3b.



a) Soporte fijo de la base



b) Soporte fijo en chasis de la carrocería

Figura 25-3: Condiciones estáticas

Fuente: Autor

El siguiente paso fue aplicar la fuerza de 100kg = 981 N en los travesaños del asiento como se indica en Figura 26-3 y luego de esto ejecutar el análisis.

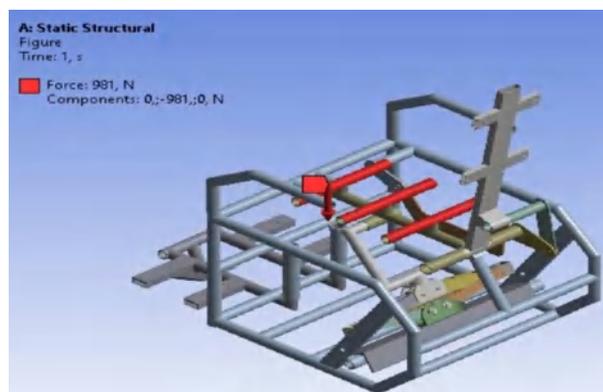
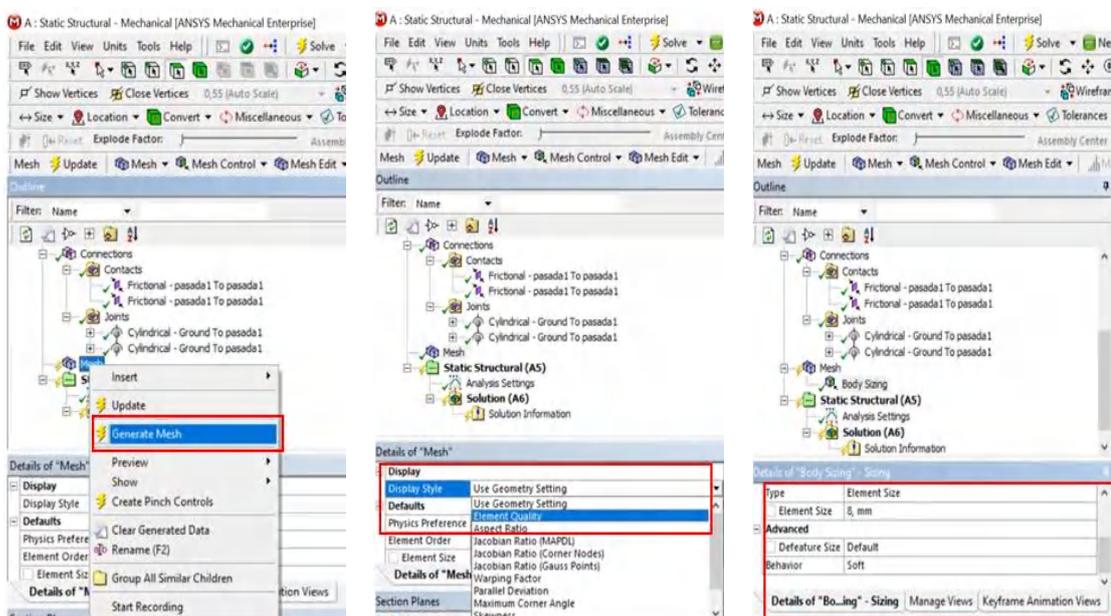


Figura 26-3: Aplicación de la fuerza en la estructura

Fuente: Autor

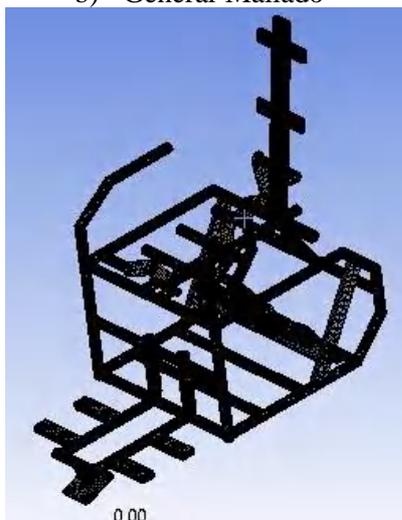
En la pestaña “Mesh” que se muestra en la Figura 27-3a, se generó un nuevo mallado. Para este caso de modelamiento se recomienda que el mallado sea tetraédrico, se lo puede realizar por dos métodos “Skewness o Element Quality”, se elige la opción “Element Quality”, debido a que necesita menor cantidad de parámetros y se adapta de mejor manera al modelado geométrico. En “Element Sizing” se introdujo un tamaño de mallado mediano equivalente a 8 mm como se indica en la Figura 27-3c. Con la orden generar mallado, se creó la nueva malla. Los valores de mallado suben entre 0.5 y 0.6. entonces se obtiene una calidad de mallado mediano suficiente para trabajar. En caso de que se desee evaluar elementos más pequeños se puede usar el comando “Refinamiento”.



a) Teorías de mallado

b) Generar Mallado

c) Tamano de malla



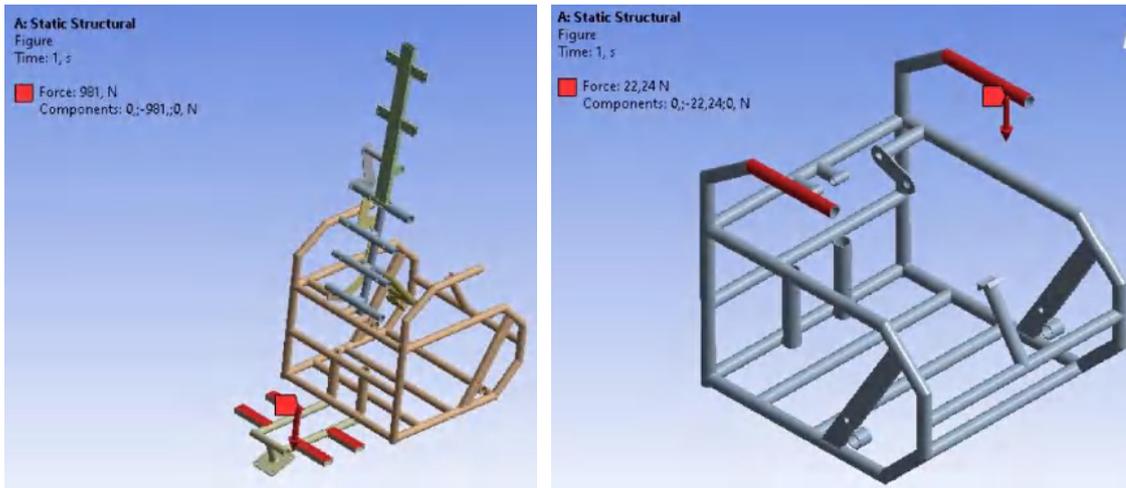
d) Mallado

Figura 27-3: Refinamiento de malla

Fuente: Autor

El análisis en posición bipedestada se realizó en el mismo módulo “Static Structural”, mismo material y fijación de los elementos de la silla, así como también con el refinamiento de malla descrito anteriormente. En esta posición el usuario concentra todo el peso en la plataforma delantera ($100\text{kg} = 981\text{ N}$) como se indica en Figura 28-3a.

En la Figura 28-3b se indica el análisis realizado al apoyar brazos con una fuerza igual 22.24N



a) Aplicación de la fuerza sobre la plataforma

b) Fuerza aplicada al reposa brazos

Figura 28-3: Aplicación de fuerzas
Fuente: Autor

3.1.5. Selección de elementos y accesorios para la manufactura de la silla

En base al análisis de los materiales existentes en el país, realizado en el capítulo dos fueron seleccionados los accesorios que recubren la carrocería de la silla, como se describe a continuación de este párrafo, para dotarle de estética, funcionalidad, seguridad y comodidad para que el usuario pueda hacer buen uso de ella.

➤ Selección del mecanismo impulsor

De acuerdo a la valoración establecida en la Tabla 3-3 se seleccionó un tipo de actuador mecánico eléctrico por lo que se realizó el análisis del modelo cinemático que describe su comportamiento en distintas posiciones como se observa en la Figura 29-3, el ángulo correspondiente al espaldar permanece constante hasta alcanzar la posición de bipedestación, mientras que el ángulo que describe a la trayectoria del asiento varía entre $(0\text{ y }90)^\circ$, el ángulo de 45° indica una posición de pedestación media.

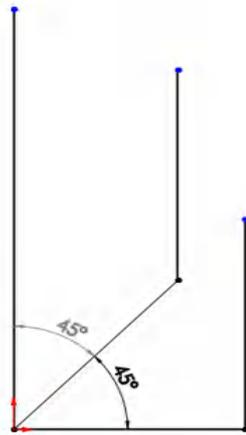


Figura 29-3: Análisis del mecanismo bipedestador
Fuente: Autor

En base a este análisis, se seleccionó el actuador gato mecánico eléctrico tipo tijera, el cual activa el motor mediante mandos de control eléctrico (pulsadores), para el movimiento ascendente y descendente con una potencia desarrollada total de 15.8 W. (Espin Guerrero, 2018)

La base del gato mecánico eléctrico se ubica en el bastidor principal con un ángulo de inclinación igual a 20° , como se indica en la Figura 30-3a, este al ser accionado por el motor eléctrico empuja el brazo del asiento ya que este hace pivote en las uniones articuladas en el tubo transversal superior de la carrocería y mediante un eslabón de apoyo mantiene la posición del espaldar a 90 grados, hasta alcanzar una posición de bipedestación completa, como se muestra en la Figura 30-3c.

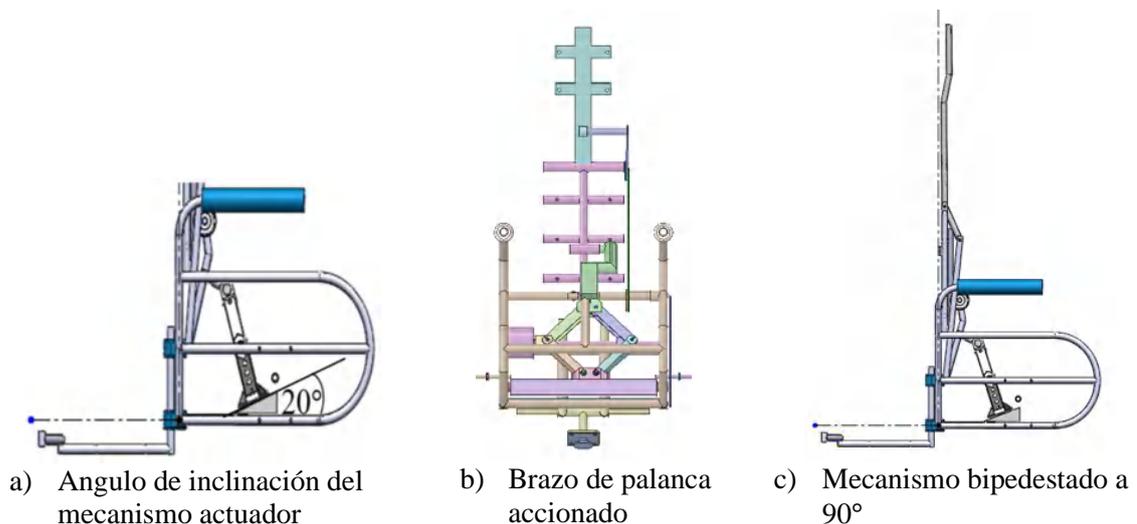


Figura 30-3: Detalles del mecanismo bipedestador
Fuente: Autor

Posterior a este análisis fueron calculados los siguientes parámetros correspondientes al mecanismo bipedestador.

➤ Posición

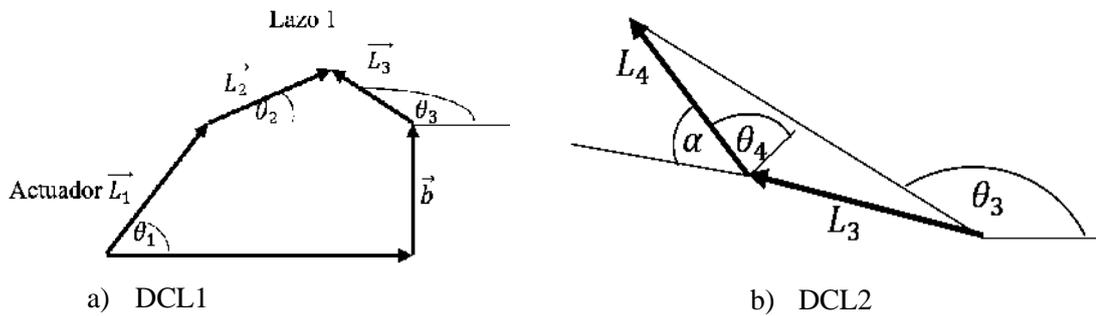


Figura 31-3: Diagrama de fuerzas

Fuente: Autor

$$L_1 C \theta_1 + L_2 C \theta_2 - L_3 C \theta_3 - a = 0$$

$$\theta_4 = \theta_3 - \alpha$$

$$L_1 S \theta_1 + L_2 S \theta_2 - L_3 S \theta_3 - b = 0$$

$$\theta_4' = \theta_3'$$

$$L_1 C \theta_1 + L_2 C \theta_2 - L_4 C \theta_4 - L_5 C \theta_5 - a = 0$$

$$\theta_4'' = \theta_3''$$

$$L_1 S \theta_1 + L_2 S \theta_2 + L_4 S \theta_4 - L_5 C \theta_5 - c = 0$$

➤ Velocidad

$$L_1' C \theta_1 - L_2 S \theta_2 \theta_2' + L_3 S \theta_3 \theta_3' = 0$$

$$L_1' S \theta_1 + L_2 C \theta_2 \theta_2' - L_3 C \theta_3 \theta_3' = 0$$

$$L_1' C \theta_1 - L_2 S \theta_2 \theta_2' - L_4 S \theta_4 \theta_4' + L_5 S \theta_5 \theta_5' - L_5' C \theta_5 = 0$$

$$L_1' S \theta_1 + L_2 C \theta_2 \theta_2' + L_4 C \theta_4 \theta_4' - L_5 C \theta_5 \theta_5' - L_5' S \theta_5 = 0$$

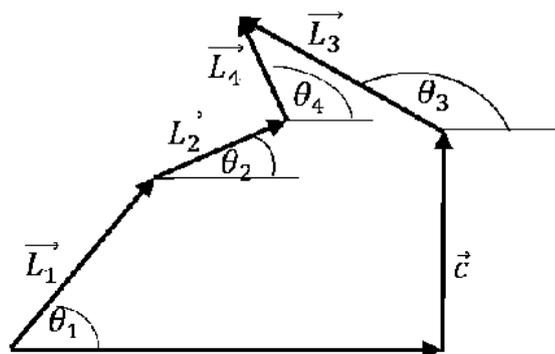


Figura 32-3: DCL3

Fuente: Autor

➤ Aceleración

$$L_1''C\theta_1 - L_2C\theta_2\theta_2'' - L_2S\theta_2\theta_2'' + L_3C\theta_3\theta_3'' + L_3S\theta_3\theta_3'' = 0$$

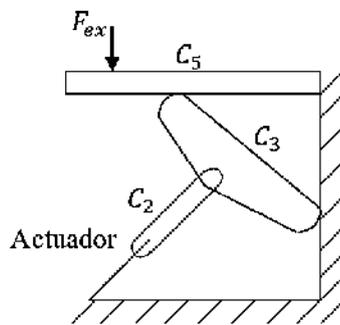
$$L_1''S\theta_1 - L_2S\theta_2\theta_2'' + L_2C\theta_2\theta_2'' + L_3S\theta_3\theta_3'' - L_3C\theta_3\theta_3'' = 0$$

$$L_1''C\theta_1 - L_2C\theta_2\theta_2'' - L_2S\theta_2\theta_2'' - L_4C\theta_4\theta_4'' - L_4S\theta_4\theta_4'' + 2L_5S\theta_5\theta_5' + L_5C\theta_5\theta_5'' + L_5S\theta_5\theta_5'' - L_5''C\theta_5 = 0$$

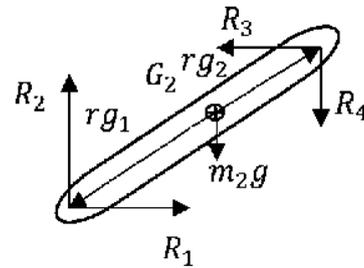
$$L_1''S\theta_1 - L_2S\theta_2\theta_2'' + L_2C\theta_2\theta_2'' - L_4S\theta_4\theta_4'' + L_4C\theta_4\theta_4'' - 2L_5C\theta_5\theta_5' + L_5S\theta_5\theta_5'' - L_5C\theta_5\theta_5'' - L_5''S\theta_5 = 0$$

➤ Dinámica

Cuerpo 2



a) DCL 4



b) DCL5

Figura 33-3: Diagrama de fuerzas actuantes

Fuente: Autor

$$R_1 - R_3 = m_2 a G 2 x$$

$$R_2 - R_4 = m_2 a G 2 y - m_2 g$$

$$-R_1 r g y + R_2 r g 1 x + R_3 r g 2 y - R_4 r g 2 x = I_2 \alpha_2$$

Cuerpo 3

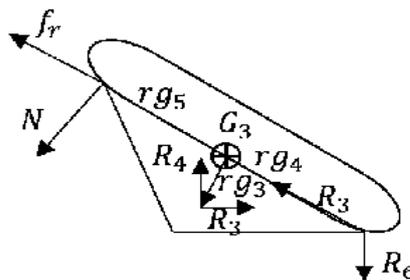


Figura 34-3: DCL6

Fuente: Autor

$$R_3 - R_5 - NC(\theta_5 - 90) - f_r C \theta_5 = m_3 a G_3 x$$

$$R_4 - R_6 - NS(\theta_5 - 90) - f_r S \theta_5 = m_3 a G_3 y - m_3 g$$

$$-R_3 r g_3 x + R_4 r g_3 x + R_5 r g_5 y - R_6 r g_5 x - f_r S \theta_3 r g_5 x - NS(\theta_3 - 90) r g_5 x + f_r C \theta_3 r g_5 y + NC(\theta_3 - 90) r g_5 y = I_3 \alpha_3$$

Cuerpo 5

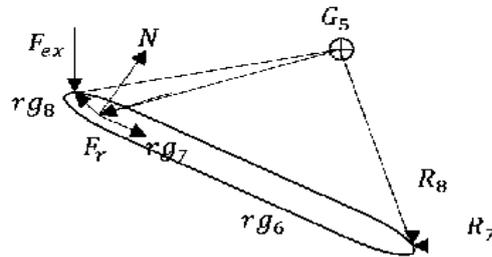


Figura 35-3: DCL7

Fuente: Autor

$$f_r C \theta_5 + NC(\theta_5 - 90) - R_7 = m_5 a G_3 x$$

$$f_r S \theta_3 + NC(\theta_5 - 90) - R_8 = m_5 a G_5 y - m_5 g + f_{cx}$$

$$f_r S \theta_5 r g_7 x + NS(\theta_5 - 90) r g_7 x - f_r C \theta_5 r g_7 y + NC(\theta_5 - 90) r g_7 y + R_7 r g_6 y - R_8 r g_6 x = I_5 \alpha_5 - f_{cx} r g_8 x$$

Actuador

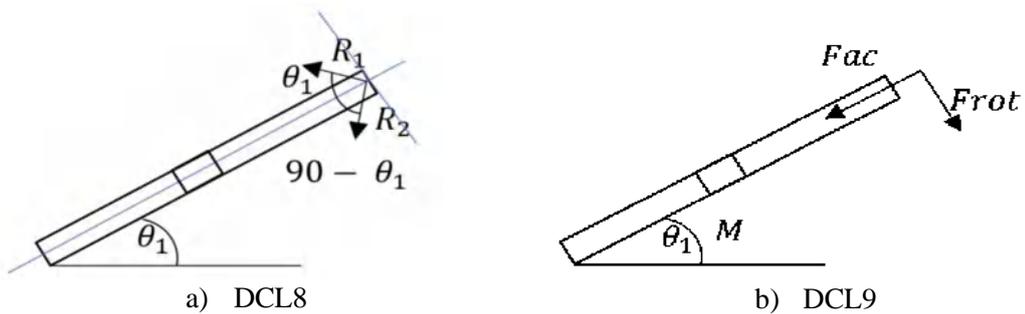


Figura 36-3: Análisis del mecanismo bipedestador

Fuente: Autor

$$F_{ac} = R_1 C \theta_1 + R_2 C(90 - \theta_1)$$

$$F_{rot} = R_1 S \theta_1 + R_2 S(90 - \theta_1)$$

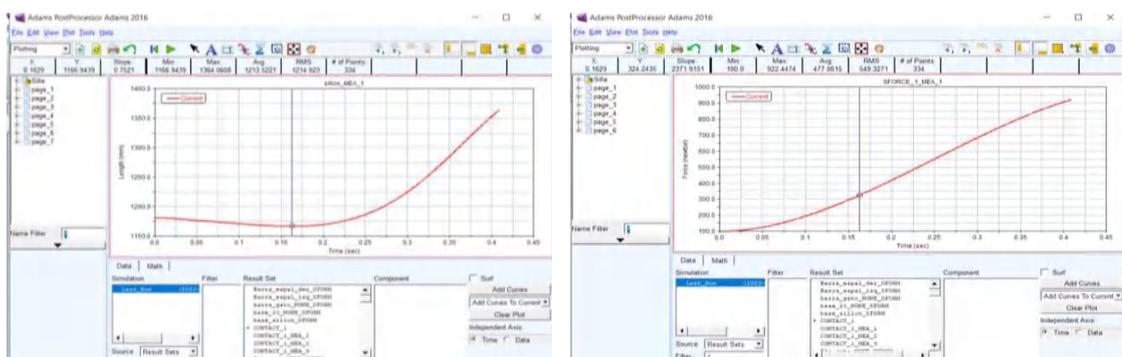
3.1.6. Modelo matemático

La simulación del modelo matemático de la silla bipedestadora con sistema de elevación mecánico -eléctrico fue realizada en el software ADAMS como se describe a continuación en cada ítem.

➤ Fuerza en vacío

La fuerza necesaria para elevar el conjunto asiento y espaldar fue determinada situando una fuerza progresiva, que aumenta gradualmente partiendo de 100 N como se muestra en la Figura 37-3b. Se utilizó el diagrama desplazamiento (mm) en función del tiempo (s) de la Figura 37-3a, para determinar el punto donde se produce un desplazamiento positivo (arriba), con respecto a la posición de equilibrio del asiento horizontal. Aquí se observa que el instante de tiempo donde se produce este movimiento es a 0.1629 segundos, esto sirve para determinar mediante la Figura 37-3b la fuerza mínima para producir un movimiento en el conjunto descrito cuando este se encuentre en vacío (ausencia de carga).

Nota: Existe un ligero desplazamiento negativo al inicio de la simulación, esto se debe a los contactos que se colocan entre los elementos, ya que existen separaciones mínimas entre los mismos, lo cual produce un efecto de “asentamiento” entre los elementos, lo cual mueve el conjunto hacia abajo hasta compensarse con la fuerza necesaria para alcanzar el equilibrio y posterior generar el movimiento hacia arriba. Una vez descrito lo anterior, se utiliza el tiempo determinado (0,1626 segundos) para medir la fuerza en ese instante de tiempo, la cual sería la mínima necesaria para romper el equilibrio y provocar el desplazamiento hacia arriba del conjunto. Mediante la gráfica de la Figura 37-3b se determina que es 324.24 N la mínima fuerza necesaria para elevar el conjunto en vacío.



a) Desplazamiento vs tiempo

b) Fuerza vs tiempo

Figura 37-3: Diagramas para conjunto en vacío

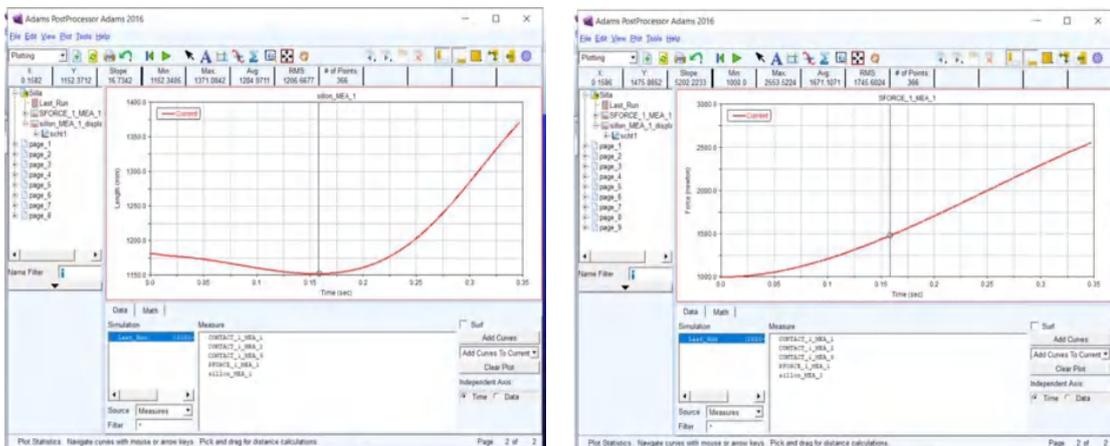
Fuente: Autor

- Fuerza con carga igual a 100kg

Se calculó bajo las mismas condiciones consideradas en el caso de vacío, pero adicionando una masa de 100 Kg en el asiento, lo que produce una componente vertical en sentido de la gravedad (hacia abajo).

Se observó entonces mediante la Figura 38-3a que el instante de tiempo donde se produce este movimiento es a los 0.1582 segundos, a partir de esto se determinó mediante la Figura 38-3b la fuerza mínima para producir un movimiento en el conjunto descrito, cuando este se encuentre cargado con una masa de 100 Kg (Peso promedio de un adulto).

Una vez descrito lo anterior, se utiliza el tiempo determinado (0,1582 segundos) para medir la fuerza en ese instante de tiempo, la cual sería la mínima necesaria para romper el equilibrio y provocar el desplazamiento hacia arriba del conjunto. Mediante la gráfica de la Figura 38-3b, se determinó que es 1475.88 N la mínima fuerza necesaria para elevar el conjunto cargado con una masa de 100 Kg.



a) Desplazamiento vs tiempo

b) Fuerza vs tiempo

Figura 38-3: Diagramas con cargas de 100Kg

Fuente: Autor

- Velocidad de elevación

Una vez determinada la fuerza necesaria para elevar el conjunto con carga igual a 100 Kg se seleccionó el modelo de gato eléctrico que se indicó en la Figura 23-2a de la sección 2.2.10, de la marca STANDTALL (como referencia), ya que este elemento posee una fuerza de elevación mayor a la requerida cuyas características son de 0.67 T, (6570 N) lo que proporciona un factor extra de carga teórico (seguridad) de 4.45 aproximadamente, esto permite también aumentar el peso de la persona que ocupe el equipo.

De acuerdo a los datos del proveedor se conoce el desplazamiento máximo que presenta el equipo, el cual es de 23 cm con respecto a la posición mínima o 35 cm desde la base (extensión completa), además de indicar el tiempo de operación para la elevación completa, el cual es hasta 2 minutos. Por lo cual la velocidad de elevación mínima es aproximadamente de 0.002 m/s (2 mm/s).

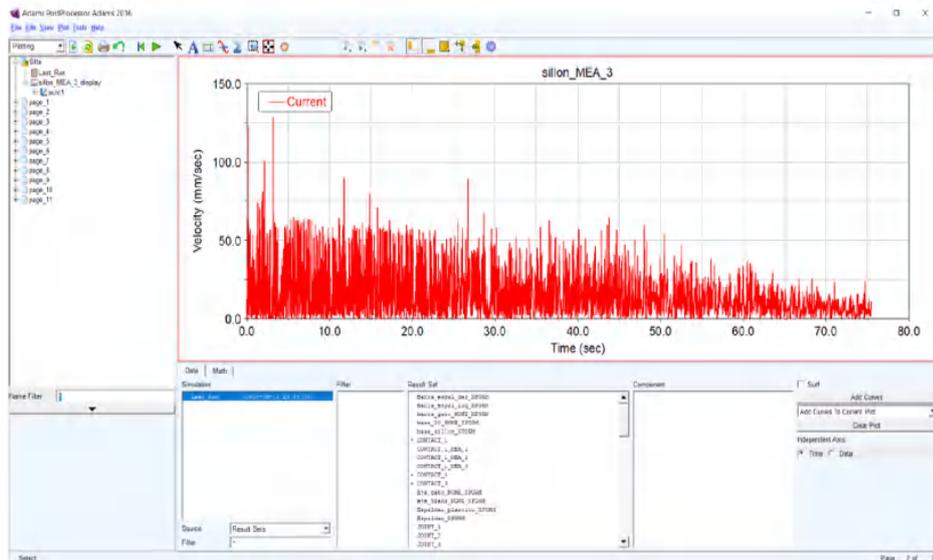


Figura 39-3: Diagrama de velocidad vs tiempo

Fuente: Autor

Como se observa en la Figura 39-3, existe un movimiento con velocidad alta inicialmente donde el asiento empieza a levantarse y poco a poco va cambiando su orientación hasta colocarse de manera inclinada con un ángulo de 87° respecto a la horizontal, el cual alcanza luego de 75.5 segundos (de acuerdo a la velocidad lineal del gato eléctrico de 2 mm/s).

Para este efecto se realizó una simulación con 700 pasos (Steps), los cuales se muestran en los diferentes picos de la gráfica de la Figura 39-3.

- Determinación de posiciones en X, Y, Z para el centro de masa del asiento

Se analizaron los desplazamientos en X, Y, Z de la coordenada del centro de masa del asiento para determinar su movimiento.

En la Figura 40-3 se pueden observar las gráficas de posición para cada eje con respecto al tiempo, las cuales permitirían determinar el desplazamiento que atraviesa el centro de masa del asiento.

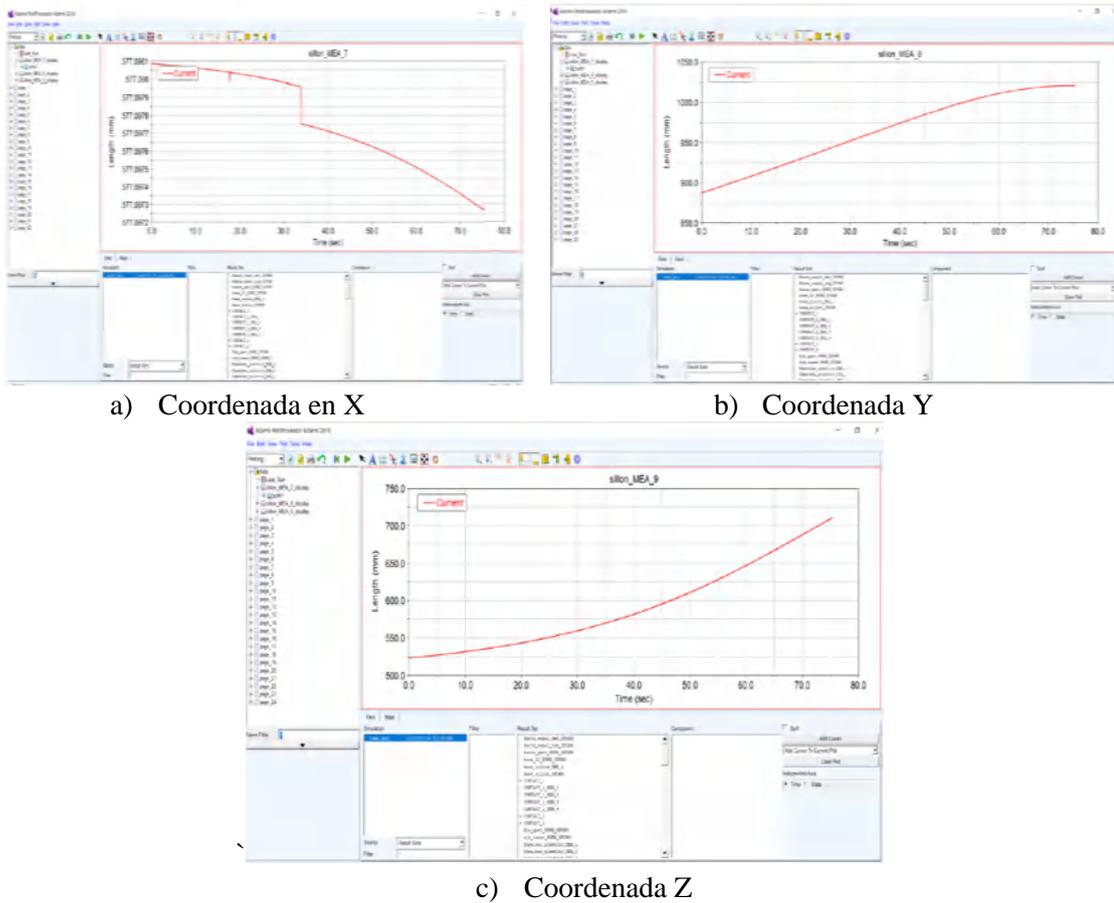


Figura 40-3: Diagramas de posición (X, Y, Z) del centro de masa del asiento
Fuente: Autor

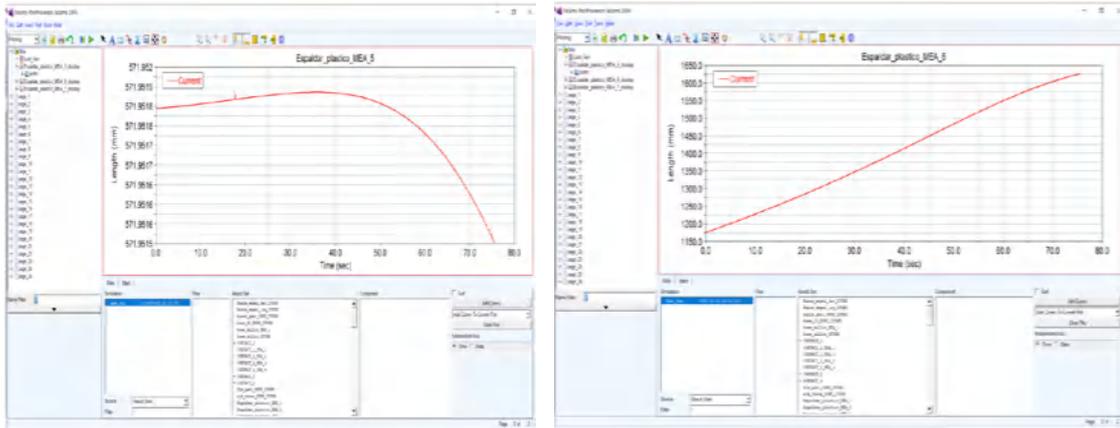
Se determina entonces los desplazamientos producidos para el centro de masa del asiento restando la posición final de estas coordenadas con respecto a su posición inicial como se indica en la Tabla 16-3.

Tabla 16-3: Coordenadas

Coordenada	Posición inicial	Posición final	Desplazamiento
X	577.0981	577.0972	0
Y	887.74	1021.05	133.3
Z	523.75	711.41	187.6

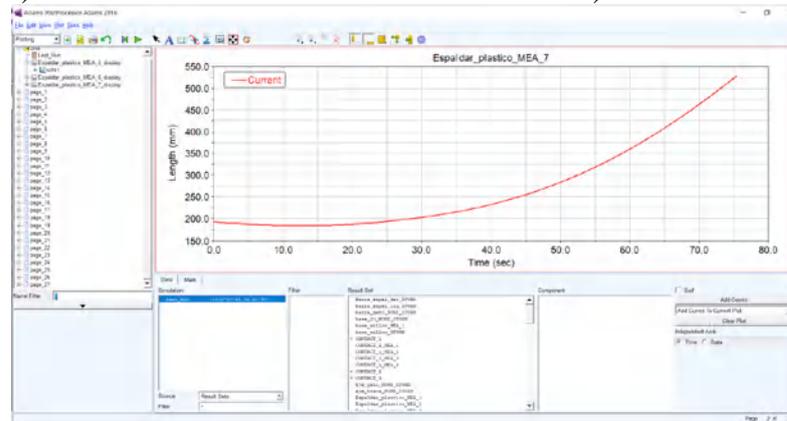
Fuente: Autor

Aplicando la misma metodología se calcularon los respectivos desplazamientos del espaldar como se puede apreciar en la Figura 41-3a la cual muestra la coordenada en “X”, la Figura 41-3b muestra la coordenada en “Y” y la Figura 41-3c la coordenada en “Z”.



a) Coordenada en X

b) Coordenada en Y



c) Coordenada en Z

Figura 41-3: Diagramas de coordenadas del centro de masa del espaldar

Fuente: Autor

Se determina entonces los desplazamientos producidos para el centro de masa del espaldar restando la posición final de estas coordenadas con respecto a su posición inicial como se indica en la Tabla 17-3.

Tabla 17-3: Coordenadas del centro de masa

Coordenada	Posición inicial	Posición final	Desplazamiento
X	571.95	571.95	0
Y	1176.33	1626.65	450.32
Z	192.85	529.23	336.38

Fuente: Autor

➤ Determinación de reacciones en el punto de contacto

El mayor punto de contacto que se presenta es entre las poleas de rodamiento y las guías de la base inferior del asiento, el cual tiene las mismas características de la velocidad observada en la Figura 39-3. Entonces se tiene una reacción promedio aproximada de 500 N en cada polea de

acuerdo a lo que indica la gráfica de Fuerza (N) en función del tiempo (s) como se indica en el diagrama de la Figura 42-3.

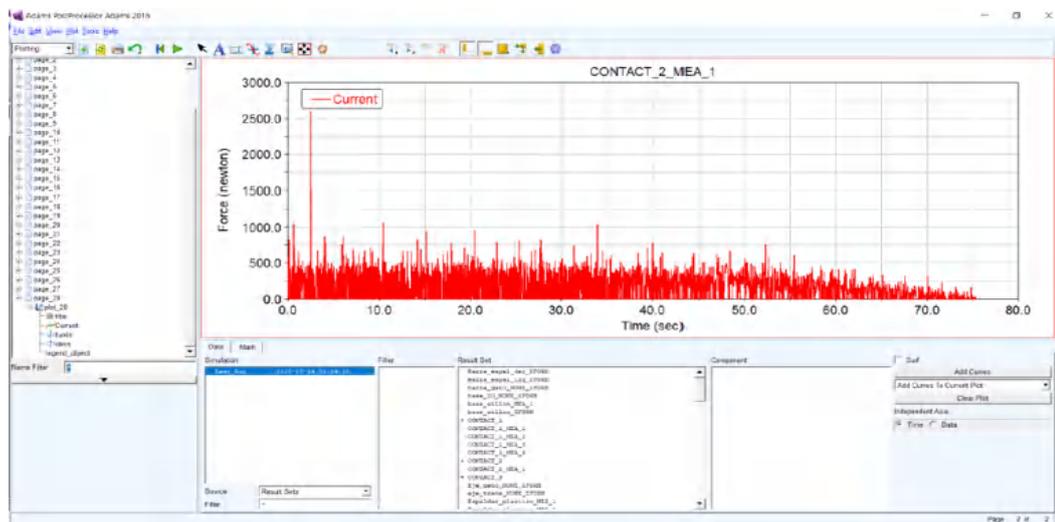


Figura 42-3: Reacción vs tiempo del contacto de la base de asiento-conjunto carga 100kg.
Fuente: Autor

En base estos análisis se ratificó la selección del actuador, posición, velocidad y aceleración de la silla bipedestadora. El modelo matemático también se realizó haciendo uso del software Matlab como se indica a continuación:

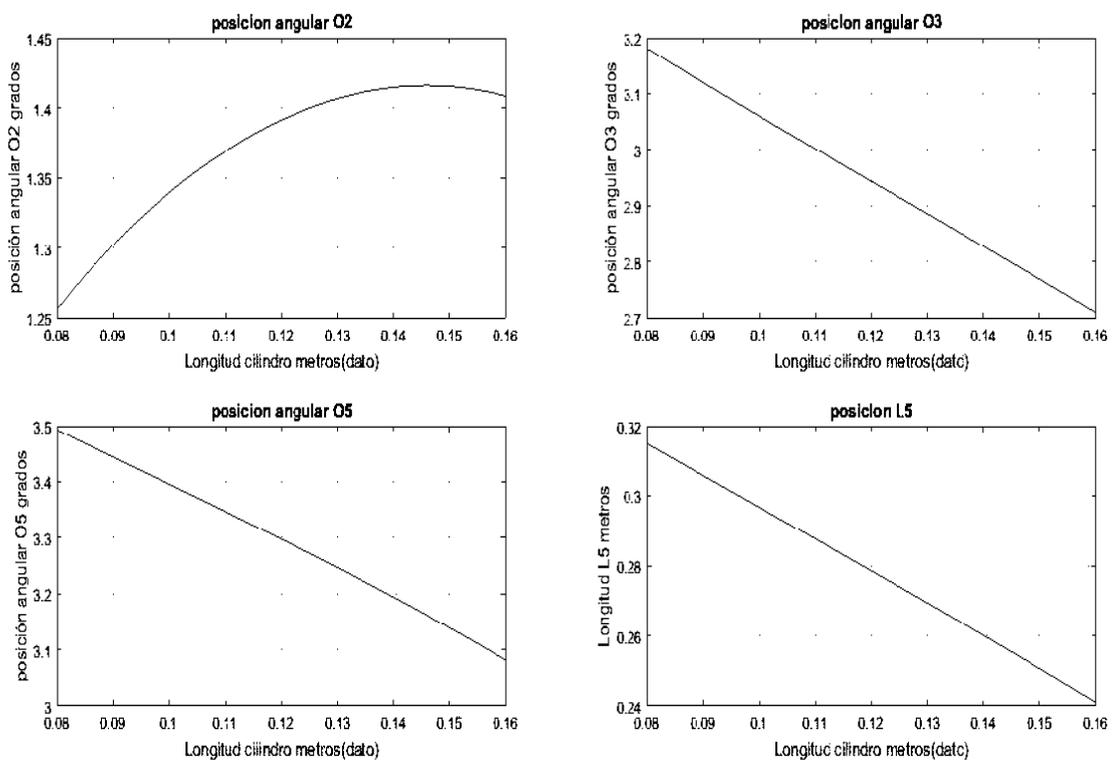


Figura 43-3: Curvas de posición
Fuente: Autor

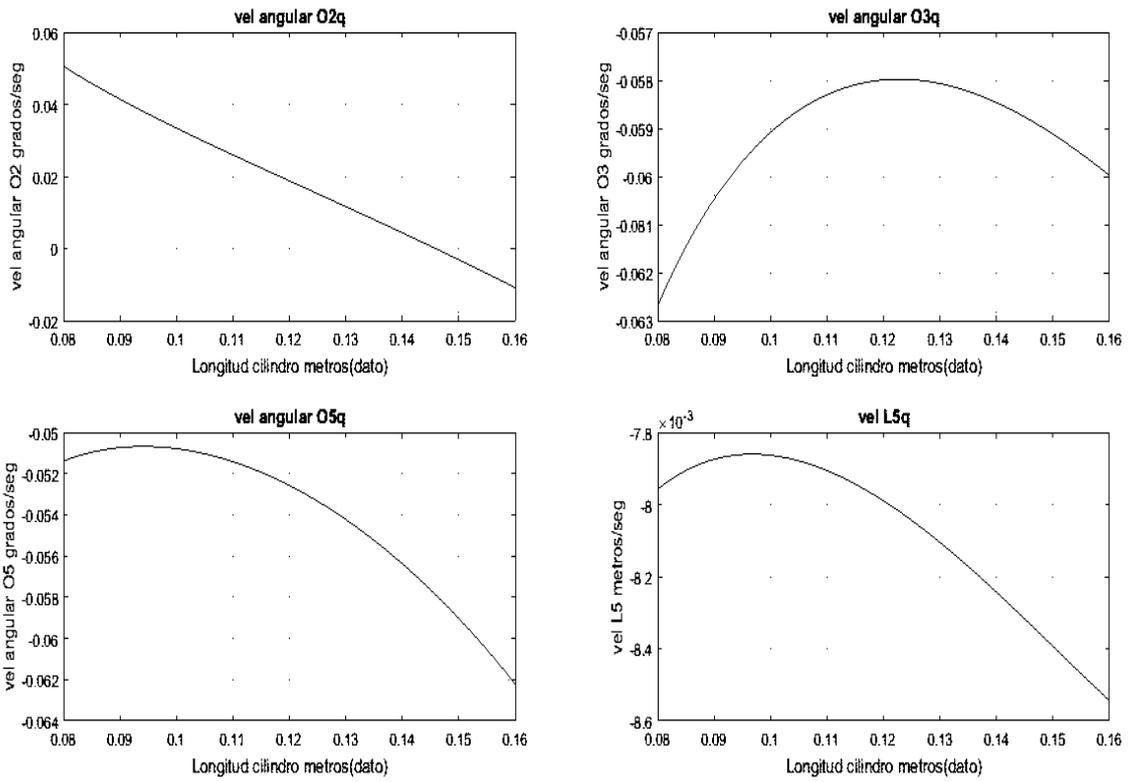


Figura 44-3: Curvas de velocidad
Fuente: Autor

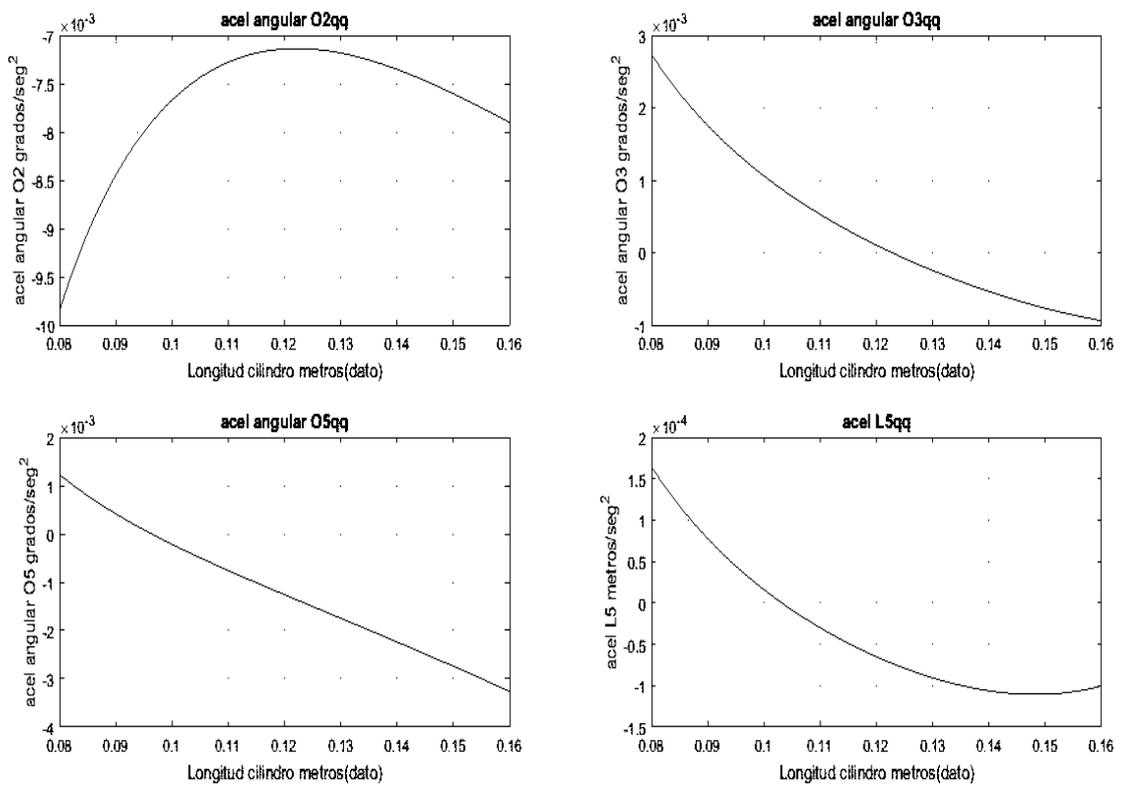


Figura 45-3: Curvas de aceleración
Fuente: Autor

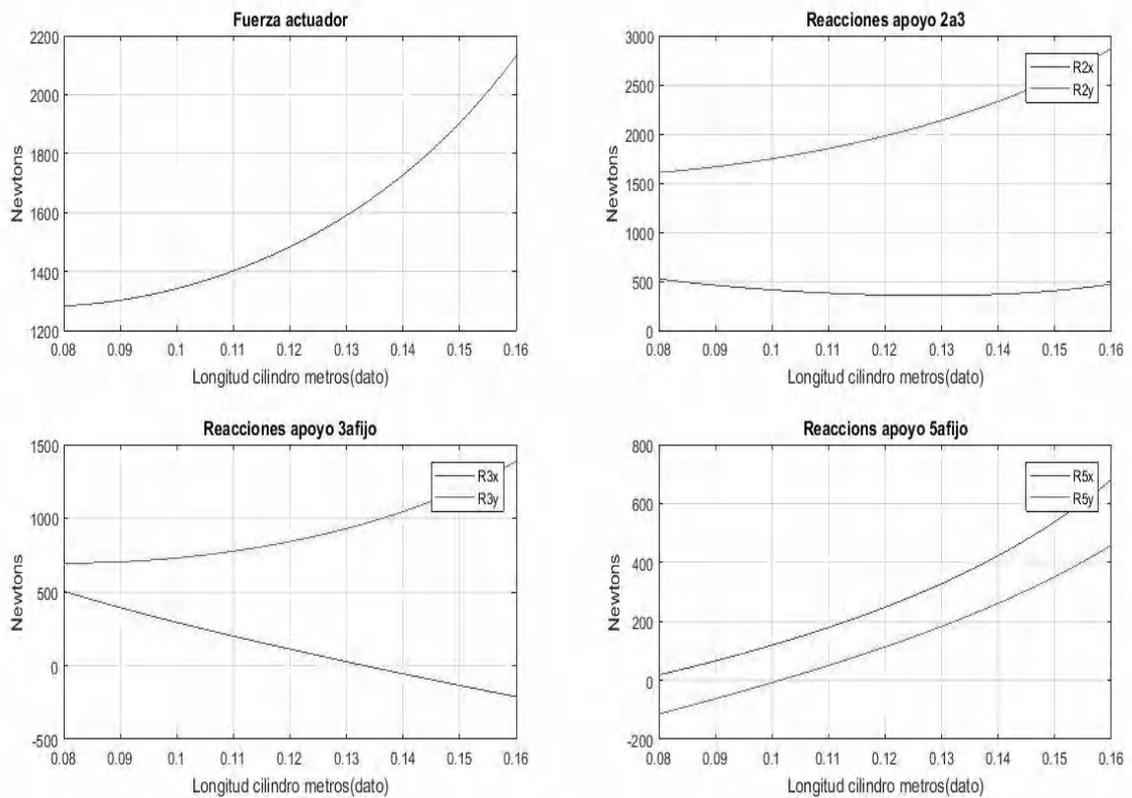


Figura 46-3: Curvas de reacciones y fuerza
Fuente: Autor

➤ Selección de neumáticos

Considerando los tipos de llantas descritas en el capítulo dos, se realizó una evaluación de los parámetros más relevantes como se indica en la Tabla 18-3.

Tabla 18-3: Parámetros de selección

Tipo de rueda	Característica					
	Precio (\$)	Propensa a pinchazos	Comodidad	Resistencia	Peso	Todo terreno
Neumática de bicicleta	20 (Barato)	SI	SI	SI	Livia no	SI
Maciza	30(Conveniente)	No	No	SI	Pesado	No
Autopropulsable neumática	60 (Caro)	Si	Si	SI	Livia no	No
Autopropulsable Maciza	80 (Caro)	No	No	SI	Pesado	No
Neumática de Scooter eléctrico	130 (Caro)	Si	Si	SI	Pesado	SI

Fuente: Autor

Estos parámetros fueron evaluados de acuerdo a la valoración que se muestra en la Tabla 19-3.

Tabla 19-3: Tabla de valoración

Tipo de rueda	Valoración máxima (3)		Valoración mínima (1)				Total
	Precio	Propensa a pinchazos	Características				
			Comodidad	Resistencia	Peso	Todo terreno	
Neumática de bicicleta	3	1	3	3	3	3	16
Maciza	2	3	1	3	1	1	11
Autopropulsable neumática	1	1	3	3	3	1	12
Autopropulsable Maciza	1	3	1	3	1	1	10
Neumática de Scooter eléctrico	1	1	3	3	1	3	12

Fuente: Autor

De acuerdo a los resultados evaluados en la Tabla 19-3, fueron seleccionados los neumáticos de bicicleta ya que posee la máxima valoración y se puede conseguir a un bajo costo, ofrecen comodidad, resistencia, poco peso y son a todo terreno lo que permitirá al usuario desempeñarse con seguridad en las tareas difíciles debido a que los neumáticos ofrecen buena adherencia al piso, como también permitirá realizar terapias seguras al momento de bipedestar.

Para la rueda delantera se seleccionó una rueda maciza, ya que esta es rígida y soportara todo el peso de la persona en posición bipedestada.

➤ Selección de frenos

De igual forma de acuerdo a los tipos de freno estudiados en el capítulo dos, se realizó la selección de los mismos de acuerdo a los parámetros más relevantes que se indica en la Tabla 20-3.

Tabla 20-3: Parámetros para la selección del freno

Tipo de freno	Característica			
	Precio (\$)	Facilidad de maniobra	Nivel de seguridad	Estética
Freno incorporado en las manijas	5 Barato	SI	Alto	SI
Freno incorporado en las ruedas posteriores	10 Conveniente	NO	Alto	NO
Freno incorporado en las ruedas delanteras	20 Caro	SI	Alto	SI

Fuente: Autor

Como se puede observar en la Tabla 21-3, los tres tipos de frenos son los adecuados para la silla de ruedas, por lo que se seleccionó un freno incorporado para la llanta delantera (ruedas macizas para andamio), debido a que la silla está destinada a pasar la mayor parte del tiempo bipedestada

y en esta zona se concentra todo el peso, por lo que el usuario necesita mayor estabilidad para realizar el proceso bipedestación y así mismo al desarrollar actividades en dicha posición.

Tabla 21-3: Valoración de parámetros

Tipo de freno	Valoración máxima (3)			Valoración mínima (1)		Total
	Precio	Característica		Estética		
		Facilidad de maniobra	Nivel de seguridad			
Freno incorporado en las manijas	3	3	3	3	12	
Freno incorporado en las ruedas traseras	2	1	3	1	7	
Freno incorporado en las ruedas delanteras	1	3	3	3	10	

Fuente: Autor

➤ Selección de correas de seguridad

Para esta selección se consideraron los parámetros que se indica en la Tabla 22-3 de acuerdo a los conceptos teóricos analizados y estudiados en el capítulo dos y a la valoración establecida anteriormente.

Tabla 22-3: Parámetros de selección para las correas de seguridad

Tipo de Cinturones	Característica				
	Precio	Seguridad	Comodidad	Resistencia	De fácil apertura y cierre
Reactiv	20 Barato	Alta	SI	Alta	SI
De transferencia Medicupola	20 Barato	Alta	SI	Alta	SI
Posicionador de pies	80 Caro	Alta	SI	Alta	SI
Estabilizador de caderas	30 Conveniente	Alta	SI	Alta	SI
Seguridad para piernas	20 Barato	Alta	SI	Alta	SI

Fuente: Autor

Como se puede observar en la Tabla 23-3, todas las correas de seguridad son válidas por ofrecer seguridad, comodidad, resistencia y por ser de fácil cierre o apertura, por lo que se seleccionó un cinturón estabilizador de caderas, un cinturón de seguridad para piernas y un cinturón posicionador de pies, debido a que el usuario debe estar seguro y a salvo en el momento de la rehabilitación o por si realiza alguna actividad de trabajo.

Tabla 23-3: Valoración de parámetros para correas de seguridad

Tipo de Cinturones	Valoración máxima (3)		Valoración mínima (1)			Total
	Precio	Seguridad	Característica			
			Comodidad	Resistencia	De fácil apertura y cierre	
Reactiv	3	3	3	3	3	15
De transferencia Medicupola	3	3	3	3	3	15
Posicionador de pies	1	3	3	3	3	13
Estabilizador de caderas	2	3	3	3	3	14
Seguridad para piernas	3	3	3	3	3	15

Fuente: Autor

3.1.7. Manufactura

Una vez realizada la respectiva selección de tubos, llantas, actuador y elementos de seguridad, el siguiente paso fue realizar manufactura siguiendo la secuencia que se indica en la Figura 47-3.

Para este proceso se inició cortando los tubos de diferentes medidas, mismos que luego fueron soldados mediante las especificaciones de soldadura que se muestra en la Tabla 24-3 y como se aprecia en la Figura 47-3a, hasta obtenerse la estructura completa de la carrocería que se indica en la Figura 47-3b, misma que fue sometida al ensayo de tintas penetrantes como se observa en la Figura 47-3c y dicho ensayo se detalla en la sección 3.1.7.1. en base al cual en la sección de resultados 4.1.2 se determinó que los cordones de soldadura se encuentran dentro de los parámetros mínimos permitidos bajo los criterios de aceptación y rechazo posterior a la validación de la soldadura el siguiente proceso fue montar el eje y las llantas posteriores y delanteras como se muestra en la Figura 47-3d, seguidamente fue recubierta exteriormente y pintada como se indica en la Figura 47-3e, luego el siguiente proceso fue realizar el corte de la madera MDF, esponja para el asiento y espaldar con las respectivas dimensiones, como se ilustra en la Figura 47-3f, finalizado esto se procedió a ensamblar las tablas correspondientes al asiento y espaldar, por último fueron adheridas las esponjas en las bases asiento – espaldar como se indica en la Figura 47-3g y se dobló la esponja del reposa brazos como se indica en la Figura 47-3h, finalizado esto se realizó el corte de la cuerina de color negra y tapizado como se aprecia en la Figura 47-3i, inmediatamente se procedió al montaje de las correas de seguridad en la silla por lo que se ubicó un cinturón estabilizador de caderas Reactiv, una correa estabilizadora de piernas y un cinturón posicionador de pies como se aprecia en la Figura 47-3j, finalmente se incorporó el gato mecánico eléctrico, la batería y el cable con el dispositivo de accionamiento para elevar y bajar la silla, como se indica en la Figura 47-3k.

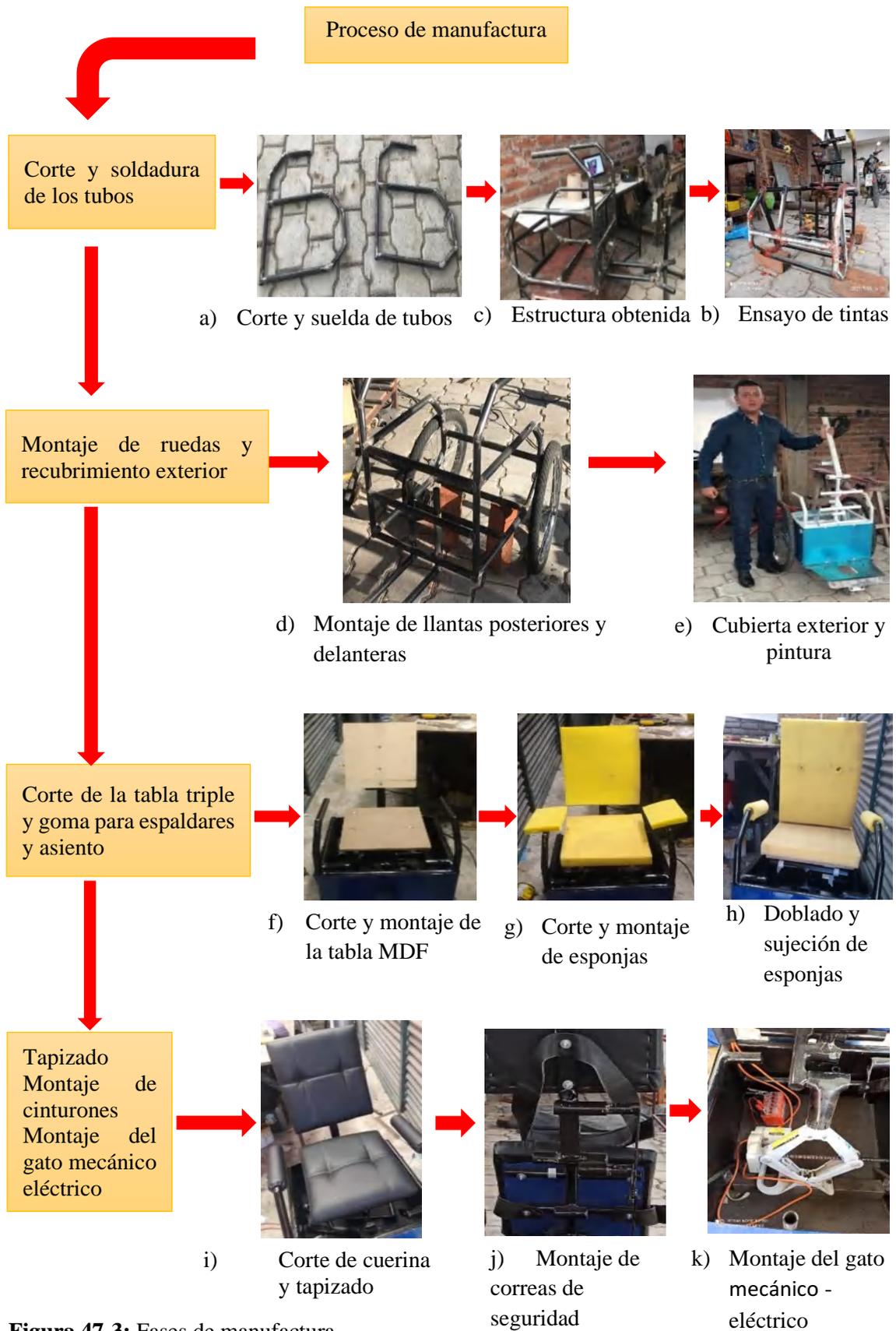


Figura 47-3: Fases de manufactura
Fuente: Autor

3.1.7.1. Ensayo de tintas penetrantes para el análisis de soldadura

La inspección de la calidad de los cordones de soldadura se realizó mediante líquidos penetrantes cuyas especificaciones se describen en la Tabla 24-3, bajo la supervisión de un técnico responsable, con la finalidad de ofrecer al mercado un producto de calidad.

Tabla 24-3: Especificaciones del ensayo de tintas penetrantes

DATOS INFORMATIVOS		
Técnico Responsable de la Inspección		Ing. Javier Buitrón
Técnico Responsable, Solicitante		Ing. Luis Ayala
Empresa/Cliente: Ing. Luis Ayala	Proceso de Soldadura: GMAW	Fecha Inspección: 16/05/2021
Estado: Estructura	Tipo de Soldadura: Manual	Fecha de revisión: 16/05/2021
Orden de producción: N/A	Nº Cordones Inspeccionados: 41	Código de especificación: AWS D1.3

ESPECIFICACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA

Tipo de Junta:	A tope (sencilla). En T y L	Respaldo:	N/A
Separación:	1 a 2mm	Pre calentamiento:	N/A
Posición:	2G y 3G	Tiempo pre calentamiento:	N/A
Material Base:	Acero A36 con Recubrimiento Galvanizado	Material de aporte:	ER 70S - 6
Espesor:	2 - 3mm	Diámetro:	0.9 mm
Grado:	C	Limpieza entre pases:	Solo un pase
Amperaje:	70 – 90 A	Técnica:	Sin especificación
Corriente:	CD/AC	Tratamiento térmico:	N/A

ESPECIFICACIÓN LÍQUIDOS PENETRANTES

Marca:	Cantesco	Sitios Inspeccionados:	Estructura de Silla de Ruedas
Cleaner:	C101-A		
Penetrant:	(699913103856) P101S-A		
Developer:	(699913100206) D101-A (699913103702)		
Temperatura de aplicación:	18-20°C	Normativa aplicable:	-ASME V -ASTM E433-7 -ASTM E165
Tipo:	Penetrantes coloreados		

Fuente: Autor

En la Figura 48-3a se indica el kit de tintas penetrantes utilizado para el ensayo, en la Figura 48-3b se muestra las zonas aplicadas y en Tabla 25-3 se detalla los datos de los puntos inspeccionados en toda la estructura de la carrocería de la silla.



a) Kit de tintas



b) Detalle de la aplicación de la tinta en el cordón de soldadura

Figura 48-3: Kit de tintas y detalle de la aplicación

Fuente: Autor

Tabla 25-3: Puntos inspeccionados

DATOS DE LOS PUNTOS INSPECCIONADOS						
N.º	Descripción	Largo Cordón (mm)	Ancho Cordón (mm)	Hora Aplicación Penetrant:	Hora Aplicación Cleaner:	Hora Aplicación Developer:
1	PT – 01	23.75	9.76	8:00	8:10	8:20
2	PT – 02	21.25	8.50	8:02	8:12	8:22
3	PT – 03	26.20	9.25	8:04	8:14	8:24
4	PT – 04	25.15	9.16	8:06	8:16	8:26
5	PT – 05	26.54	8.15	8:08	8:18	8:28
6	PT – 06	23.29	9.13	8:30	8:40	8:50
7	PT – 07	24.16	8.90	8:32	8:42	8:52
8	PT – 08	23.58	8.85	8:34	8:44	8:54
9	PT – 09	19.50	9.03	8:36	8:46	8:56
10	PT – 10	20.78	9.04	8:38	8:48	8:58
11	PT – 11	24.89	9.90	9:00	9:10	9:20
12	PT – 12	23.25	8.25	9:02	9:12	9:22
13	PT – 13	26.78	7.98	9:04	9:14	9:24
14	PT – 14	25.89	8.46	9:06	9:16	9:26
15	PT – 15	26.45	9.85	9:08	9:18	9:28
16	PT – 16	28.78	8.26	9:30	9:40	9:50
17	PT – 17	24.13	9.56	9:32	9:42	9:52
18	PT – 18	23.58	7.89	9:34	9:44	9:54
19	PT – 19	23.89	8.26	9:36	9:46	9:56
20	PT – 20	25.79	9.15	9:38	9:48	9:58
21	PT – 21	26.48	9.78	10:00	10:10	10:20
22	PT – 22	24.89	7.50	10:02	10:12	10:22
23	PT – 23	26.57	7.69	10:04	10:14	10:24
24	PT – 24	22.56	9.89	10:06	10:16	10:26
25	PT – 25	24.98	10.2	10:08	10:18	10:28

DATOS DE LOS PUNTOS INSPECCIONADOS						
N.º	Descripción	Largo Cordón (mm)	Ancho Cordón (mm)	Hora Aplicación Penetrant:	Hora Aplicación Cleaner:	Hora Aplicación Developer:
26	PT – 26	26.45	8.05	10:30	10:40	10:50
27	PT – 27	23.45	7.09	10:32	10:42	10:52
28	PT – 28	23.58	10.25	10:34	10:44	10:54
29	PT – 29	24.49	9.18	10:36	10:46	10:56
30	PT – 30	25.41	8.25	10:38	10:48	10:58
31	PT – 31	26.36	9.45	11:00	11:10	11:20
32	PT – 32	27.27	9.26	11:02	11:12	11:22
33	PT – 33	27.54	7.90	11:04	11:14	11:24
34	PT – 34	21.65	8.98	11:06	11:16	11:26
35	PT – 35	23.89	7.58	11:08	11:18	11:28
36	PT – 36	21.56	9.87	11:30	11:45	12:00
37	PT – 37	28.78	8.58	11:32	11:47	12:02
38	PT – 38	26.89	9.58	11:34	11:49	12:04
39	PT – 39	24.78	8.75	11:36	11:51	12:06
40	PT – 40	23.59	7.69	11:38	11:53	12:08
41	PT – 41	21.45	8.98	11:40	11:55	12:10

Fuente: Autor

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Validación del análisis estructural

- En posición de sentado

En la Figura 1-4, se muestra la deformación total de la silla la cual presenta una deformación total máxima de 0.26 mm en el filo de la silla y de 0.46mm en el tubo transversal, esto se debe a que la estructura del asiento soporta todo el peso y a la vez esta estructura se articula al tubo transversal.

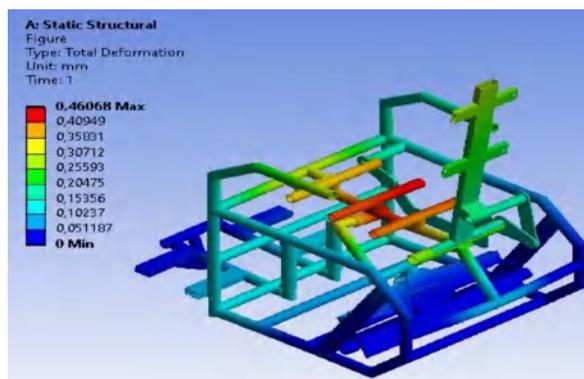


Figura 1-4: Deformación total
Fuente: Autor

En la Figura 2-4 se muestran los resultados obtenidos del equivalente de Von Mises.

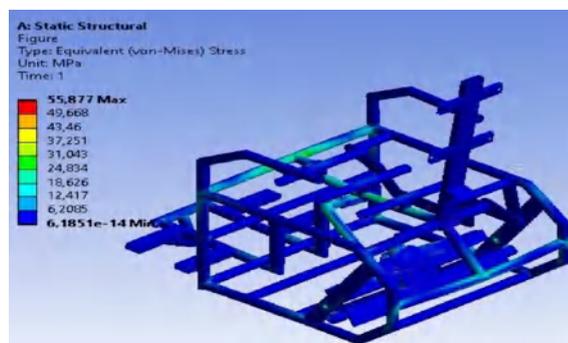


Figura 2-4: Equivalente de Von Mises
Fuente: Autor

En la Figura 3-4, se puede apreciar que el factor de seguridad mínimo es de 4.377 mientras que el valor máximo es de 15 lo que indica que se trata de una estructura segura con capacidad para soportar el peso conjunto del usuario y de los diferentes accesorios que la componen.

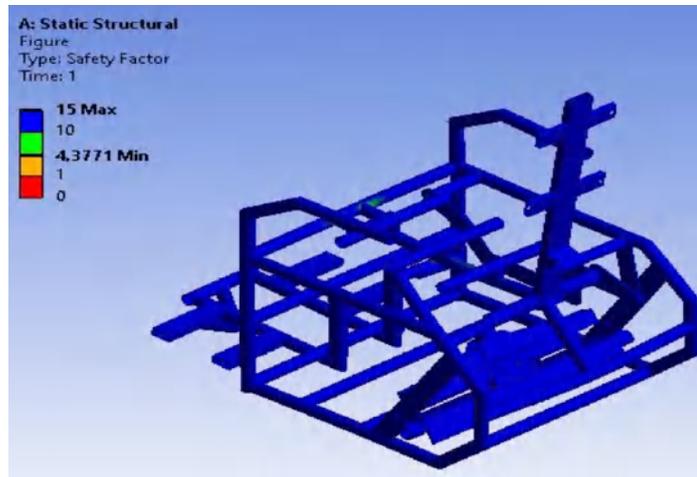
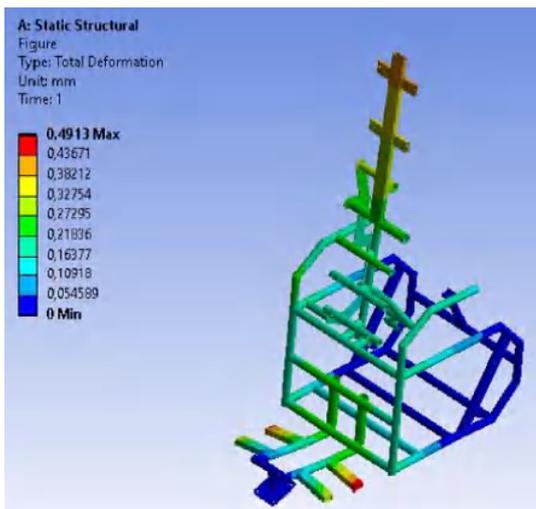


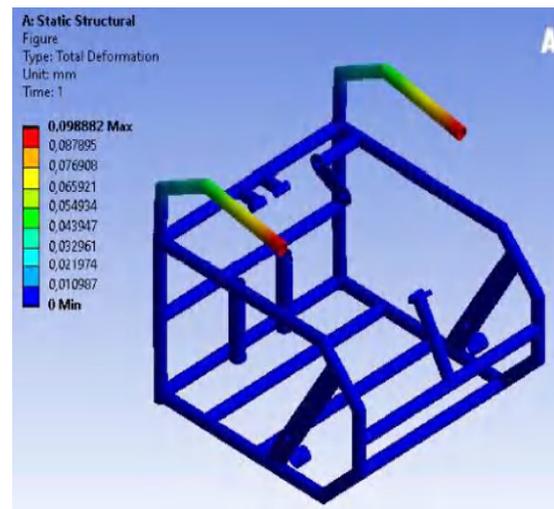
Figura 3-4: Factor de seguridad
Fuente: Autor

➤ En posición de bipedestado

En la Figura 4-4a se puede observar que la estructura sufre una deformación máxima total de 0.135mm en la zona de unión de la estructura de la silla y del reposa pies, mientras que en la Figura 4-4b se observa la deformación del reposa brazos cuyo valor máximo es de 1.034mm ubicado en el extremo del tubo.



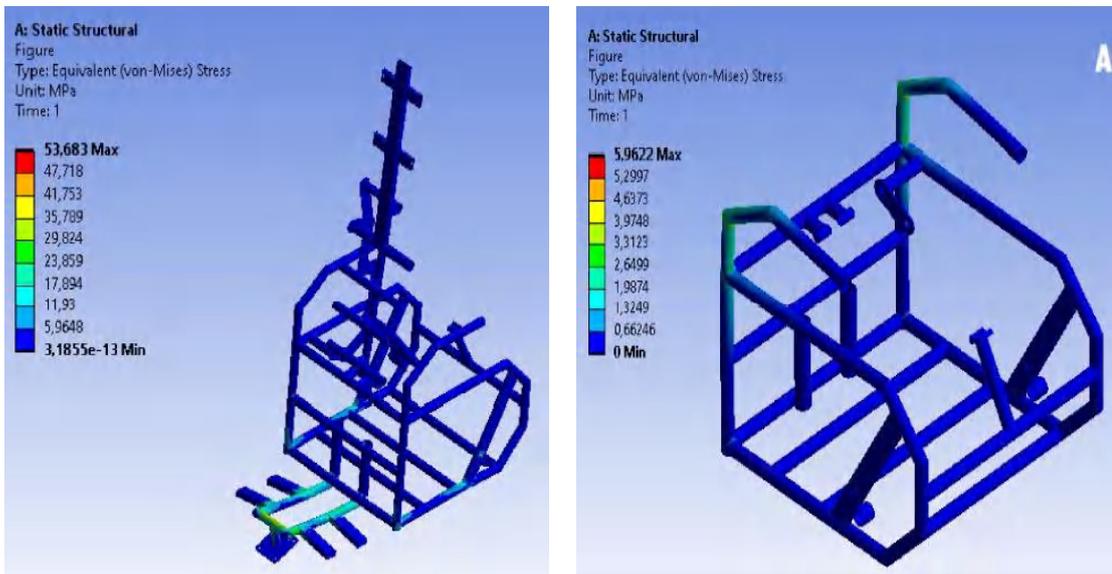
a) Deformación del reposa pies



b) Deformación del reposa brazos

Figura 4-4: Deformaciones totales
Fuente: Autor

En la Figura 5-4a, se muestra los resultados correspondientes al equivalente de Von - Mises en la base y en la Figura 5-4b el equivalente de Von - Mises del análisis del apoya brazos.



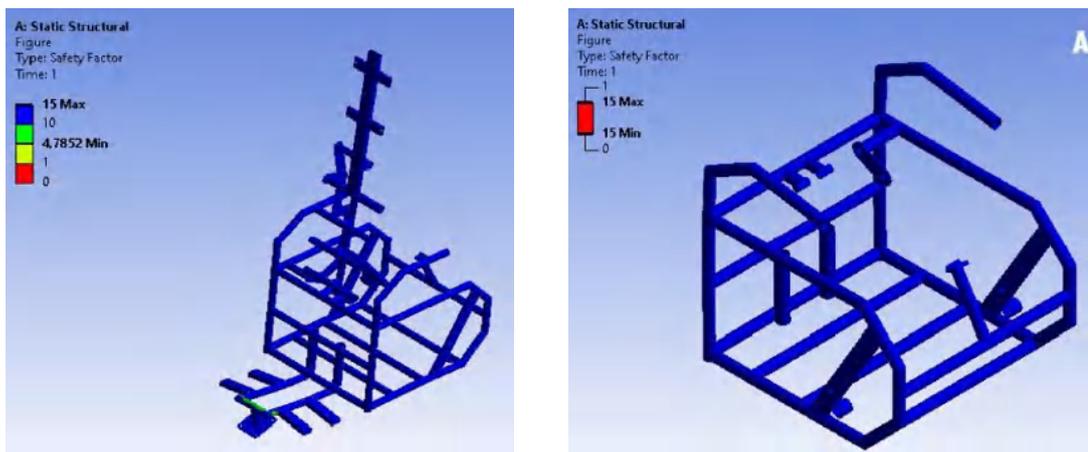
a) Reposapiés

b) Apoya brazos

Figura 5-4: Equivalente de Von Mises
Fuente: Autor

En la Figura 6-4a, se aprecia un factor de seguridad mínimo de 10.636 y un factor máximo de 15, en base a eso se deduce que la plataforma es segura, resistente, capaz de brindar seguridad cuando el usuario se encuentre en posición de bipedestada incluso realizando alguna actividad.

En la Figura 6-4b, se observa que el factor de seguridad del apoya brazos es de 4.011 esto indica que la estructura es segura y confiable.



a) Reposapiés

b) Apoya brazos

Figura 6-4: Factor de seguridad
Fuente: Autor

4.1.2. Resultados del ensayo de tintas penetrantes

Tabla 1-4: Resultados obtenidos

Identificación de la soldadura N°	Detalle sobre soldadura	Longitud examinada (mm)	PARÁMETROS-CAPILARIDAD				Interpretación		Observaciones
			Longitud (mm)				Acept.	Rech.	
			FISURAS	POROS	ESCORIA	OTRA			
1	PC	23.75					X		
2	PC	21.25					X		
3	PC	26.20					X		
4	PC	25.15					X		
5	PC	26.54					X		
6	PC	23.29					X		
7	PC	24.16					X		
8	PC	23.58					X		
9	PC	19.50					X		
10	PC	20.78					X		
11	PC	24.89					X		
12	PC	23.25					X		
13	PC	26.78					X		
14	PC	25.89					X		
15	PC	26.45					X		
16	PC	28.78					X		
17	PC	24.13					X		
18	PC	23.58					X		
19	PC	23.89					X		
20	PC	25.79					X		
21	PC	26.48					X		
22	PC	24.89					X		
23	PC	26.57					X		
24	PC	22.56					X		
25	PC	24.98					X		
26	PC	26.45					X		
27	PC	23.45					X		
28	PC	23.58					X		
29	PC	24.49					X		
30	PC	25.41					X		
31	PC	26.36					X		
32	PC	27.27					X		
33	PC	27.54					X		
34	PC	21.65					X		

Identificación de la soldadura N°	Detalle sobre soldadura	Longitud examinada (mm)	PARÁMETROS-CAPILARIDAD				Interpretación		Observaciones
			Longitud (mm)				Accept.	Rech.	
			FISURAS	POROS	ESCORIA	OTRA			
35	PC	23.89					X		
36	PC	21.56					X		
37	PC	28.78					X		
38	PC	26.89					X		
39	PC	24.78					X		
40	PC	23.59					X		
41	PC	21.45					X		

Observaciones generales: La mayoría de cordones se encuentran pulidos

PC= Punto Critico

NC= No Critico

Fuente: Autor

Según la normativa vigente y basados en el Criterio de Aceptación y Rechazo de Inspección Visual y con la utilización de líquidos penetrantes como ensayos No Destructivos (END), de acuerdo al método de Ensayos No Destructivos utilizado.

Se concluye que, de los “cuarenta y uno” cordones de soldadura, ensayados y evaluados, los cordones no presentan defectos de soldadura que puedan afectar considerablemente al estado de los cordones de soldadura verificados.

Finalmente, los cordones de soldadura evaluados se encuentran dentro de los parámetros mínimos permitidos bajo los criterios de aceptación y rechazo los cuales se encuentran referenciados con las normas internacionales: AWS D1.3, ASME V, ASTM E433-7 y ASTM E165, requeridas para realizar el presente informe.

4.1.3. Resultados de la manufactura

Una vez finalizado el proceso de manufactura se obtuvo como resultado final la silla que se aprecia en la Figura 7-4a, es cómoda de buena estética y segura, en la Figura 7-4b se puede observar el detalle del montaje del cinturón de seguridad, en la Figura 7-4c se puede apreciar el detalle del acople del gato mecánico eléctrico a la estructura, en la Figura 7-4d, se puede observar el detalle de la estructura inferior y montaje de la llanta delantera.



a) Silla bipedestadora terminada



b) Detalle del montaje de la correa de seguridad



c) Detalle del acople del gato mecánico eléctrico a la estructura



d) Detalle de la estructura inferior y montaje de la llanta delantera

Figura 7-4: Silla bipedestadora obtenida
Fuente: Autor

En la Figura 8-4a se puede observar la silla de perfil en posición bipedestada, en la Figura 8-4b se puede observar el detalle posterior de la silla y en la Figura 8-4c, se puede ver el detalle frontal, en la Figura 8-4d se puede observar el detalle del freno incorporado en la llanta delantera, en la Figura 8-4e se puede apreciar el montaje de la base del gato mecánico eléctrico a la estructura y en la Figura 8-4f, se puede apreciar el montaje del mando eléctrico para la bipedestación



a) Silla en posicion bipedestada



b) Detalle posterior



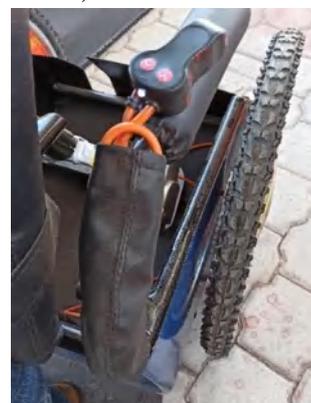
c) Detalle delantero



d) Detalle del freno



e) Detalle del montaje del gato
mecanico electrico a la carroceria



f) Detalle del montaje del mando electrico
hacia el actuador

Figura 8-4: Detalles de la silla bipedestadora
Fuente: Autor

4.2. Discusión

Generalmente en el país existen sillas de bipedestación importadas las cuales resultan caras para las personas de escasos recursos económicos siendo esta la población la más afectada, por tal motivo el presente estudio realizado se enfoca en diseñar y construir una silla ergonómica, cómoda, de buena estética y sobre todo económica con materiales nacionales, esta silla es de mucha importancia en la salud de un paciente que presente discapacidad en sus extremidades inferiores ya que el mecanismo bipedestador le permite prolongar la vida ya que al bipedestar le favorece una buena circulación sanguínea, evitar escaras, mantener activos los músculos, huesos, tendones, articulaciones etc.

Evitando de esta forma el envejecimiento y recaída ya que se ha dado casos que por falta de estas terapias el paciente empeora su salud debido a la inactividad muscular, eleva la autoestima y le permite desempeñarse en varias actividades tales como peluquería ya que puede trabajar en forma bipedestada, mecánico de coches, o simplemente con la ayuda de alguien salir de paseo.

CAPÍTULO V

5. PROPUESTA

5.1. Análisis económico

El análisis de costes se realizó considerando los aspectos de costes de materia prima y los costes por mano de obra como se describe a continuación:

➤ Costes por materia prima

En la Tabla 1-5, se detallan los precios de los materiales adquiridos para la manufactura de la carrocería de la silla, en la Tabla 2-5 se indican los precios correspondientes a los accesorios y tapicería.

Tabla 1-5: Costes de los materiales para la carrocería

Material	Cantidad	Coste unitario (\$)	Coste total (\$)
Tubo redondo 3/4"	30	30	40
Platina	1	15	30
Tintas	1	60	60
Gastos varios (Desengrasante, espátulas, lijas, franela tiñer)	1	20	20
TOTAL			150

Fuente: Autor

Tabla 2-5: Costes de los accesorios y tapicería

Accesorios /Elemento	Cantidad	Coste unitario	Coste total
Tabla para asiento	1	10	10
Tabla para espaldar	1	10	10
Esponja para asiento	1	20	20
Esponja para espaldar	1	20	20
Cuerina	1	40	40
Llantas posteriores	2	15	30
Llanta delantera	1	40	40
Correas estabilizadoras de cadera	1	30	30
Correas estabilizadoras de piernas	1	30	30
Correas para pies	1	30	30
Reposa cabeza	1	30	30
Gato mecánico eléctrico	1	120	120
Batería (24V)	1	60	60
TOTAL			470

Fuente: Autor

➤ Costes por mano de obra

La mano de obra se realizó mediante el empleo de un técnico para el corte, suelda y doblado de tubos, un tapicero, un supervisor mecánico para la inspección y calificación de los cordones de soldadura, un asistente de ensamble, como es conocido en el país este tipo de trabajadores desarrollan y cobran la mano de obra de acuerdo al tiempo empleado y nivel de dificultad del trabajo por lo que se ha evaluado de acuerdo a esto como se detalla en la Tabla 3-5.

Tabla 3-5: Costes por mano de obra

Cargo	Cantidad	Costo por hora	Costo total
Técnico de corte suelda y doblado	2	50	100
Tapicero	1	40	40
Asistente de ensamble	2	20	40
Certificación del ensayo de tintas penetrantes			80
TOTAL			260

Fuente: Autor

Una vez realizado este análisis en la Tabla 4-5, se determina los costes totales de manufactura de la silla.

Tabla 4-5: Análisis de costes de manufactura

Subtotal	Coste total (\$)
Costes de los materiales para la carrocería	150
Costes de los accesorios y tapicería	470
Costes por mano de obra	260
Costes de diseño	150
Imprevistos	70
Subtotal Costes	1100
IVA 12 %	132.000
Importe IVA	132.000
Precio de venta	1232.000

Fuente: Autor

Como se observa en la Tabla 4-5, de acuerdo al análisis de costes realizado se propone ofertar al público la silla bipedestadora con precio accesible de 1232.000\$. Una vez validado y probado que el diseño es complemente funcional, se propone también realizar bien sea para la rehabilitación o cualquier actividad que necesite el usuario, primeramente, accionar el freno delantero con la finalidad de bloquear totalmente el movimiento y de esta manera pueda bipedestar y desempeñarse con seguridad en dichas actividades a fin de evitar caídas, resbalones ya que esto

puede provocar la pérdida de equilibrio y accidentes considerables del usuario y peor aun cuando este se encuentra solo.

La inactividad del usuario debido a reparaciones de la silla incurre en pérdidas económicas si la utiliza como instrumento de apoyo para desarrollar algún tipo de trabajo, además de un quebranto en la salud física y psicológica, por lo que se propone el manual de usuario y el plan de mantenimiento preventivo y correctivo que se describen en la Tabla 5-5, con la finalidad que el usuario haga un buen uso de la silla.

Tabla 5-5: Manual de usuario y mantenimiento

SILLA BIPEDESTADORA – MANUAL DE USUARIO

La silla bipedestadora de accionamiento mecánico eléctrico posee marco rígido de acero galvanizado, para desempeñar una propulsión de bipedestación eficiente del usuario, así como también cuando realiza actividades en esta posición.

El sistema mecánico eléctrico sube al usuario, hasta una posición de pie de 90 grados
Fabricada y diseñada en Ecuador
Garantía de 2 años.

El mecanismo bipedestador imita el movimiento biomecánico natural del cuerpo al levantarse y sentarse.

El apoyo cabeza, espaldar y asiento son cómodos y se complementan con los cinturones de seguridad de cadera, piernas y pies para ejecutar un traslado seguro y confiable

Accesorios:

Ruedas todo terreno (Posteriores)

Rueda maciza (Delantera)

Asiento espaldar, apoyo cabeza y reposabrazos de goma de poliuretano

Cinturón estabilizador de caderas Reactiv.

Cinturón de seguridad para piernas

Cinturón posicionador de pies

Plataforma de pies única para ambos pies

Freno incorporado en la rueda delantera



Especificaciones:

Ancho del asiento:294.8mm

Máxima capacidad de peso: 120kg

Peso total:

Altura del asiento al suelo:514.32mm

Batería: 12v

Gato mecánico eléctrico:

Capacidad de carga 2 toneladas

DC voltaje 13.5V



MANUAL DE MANTENIMIENTO

TIPO DE MANTENIMIENTO	ACTIVIDAD	LAPSO DE TIEMPO
Mantenimiento preventivo	Revisar la presión de neumáticos	Diariamente
	Revisar las conexiones eléctricas	Cada semana
	Revisar las articulaciones	Cada dos semanas
	Revisar el freno	Cada mes
	Revisar los cinturones de seguridad	Diariamente
	Revisar el gato mecánico eléctrico	Cada mes
	Limpieza de la carrocería y accesorios	Periódicamente
Mantenimiento correctivo	Sustituir la batería	Cada tres años
	Sustituir llantas posteriores y delantera	Cada año
	Sustituir los cinturones de seguridad	Cada dos años
	Sustituir el tapizado del asiento, espaldar y apoya cabeza	Cada cinco años
	Reparaciones de la carrocería	Cada cinco años

Fuente: Autor

En la Tabla 5-5 se describe un lapso de tiempo base ponderado, ya que este variara debido a las condiciones de uso que el usuario le imponga a la silla, generalmente se estima una vida útil de cinco años para la silla bipedestadora.

CONCLUSIONES

- En base a artículos científicos, estudios antes realizados y páginas web, se realizó el análisis de sillas bipedestadoras existentes.
- Se analizó las medidas antropométricas en base a la norma DIN, de las personas con discapacidad en sus miembros inferiores.
- Se analizó los parámetros de funcionamiento de la silla mediante el software ADAMS, en base a lo cual se realizó la selección del gato mecánico eléctrico, ya que es necesario una fuerza mínima de 1475.88N, para elevar y pasar a la posición bípeda el conjunto usuario asiento, espaldar y apoya cabeza.
- Al realizar el ensayo de tintas penetrantes se determinó que los cuarenta y uno cordones de soldadura ensayados y evaluados no presentan defectos de soldadura que puedan afectar considerablemente al estado de los mismos. Estos se encuentran dentro de los parámetros mínimos permitidos bajo los criterios de aceptación y rechazo los cuales están referenciados con las normas internacionales: AWS D1.3, ASME V, ASTM E433-7 Y ASTM E165.
- En base a todos los parámetros de estudio se manufacturó la silla y posterior a esto se realizaron diferentes pruebas de funcionamiento de todos los sistemas móviles y motrices de la silla bipedestadora misma que presenta un costo factible de 1052.800\$

RECOMENDACIONES

- Sujetar de manera correcta a la silla al usuario cuando haga uso de la misma, para evitar percances como caídas, resbalones, volcamientos entre otros.
- Realizar el mantenimiento respectivo cada seis meses.
- Analizar la posibilidad de cambiar el diseño para reducir el peso, manteniendo el mismo mecanismo bipedestador.
- Revisar frecuentemente la presión de los neumáticos para evitar desgastes excesivos de los mismos y mantener la estabilidad adecuada.
- No hacer uso de la silla en posición bípeda, sobre rampas excesivamente inclinadas ya que puede surgir una pérdida de equilibrio y por ende producirse un accidente.

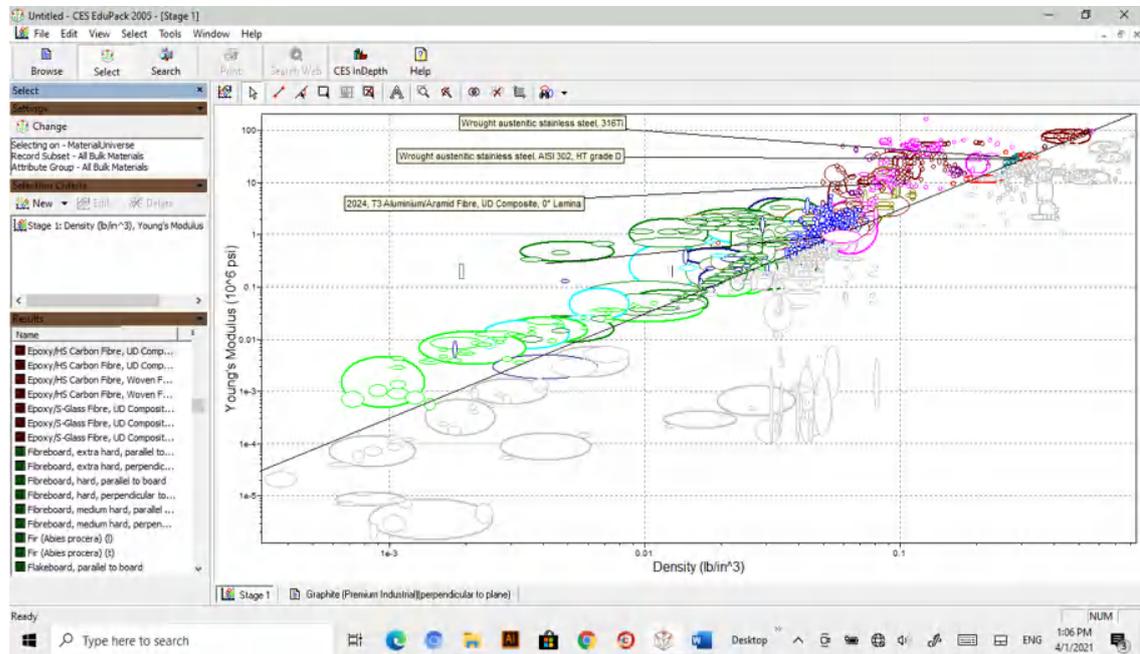
BIBLIOGRAFÍA

- Ability. (n.d.). *Accesorios para sillas de ruedas*. Retrieved from <https://www.ability.com.mx/productos/ortopedia/>
- Acuña, J. (2016, 11 15). *Centro de Gravedad del Cuerpo Humano*. Retrieved from Centro de Gravedad del Cuerpo Humano: <http://cdgdelch.blogspot.com/>
- Adaptado.es. (n.d.). *ADAPTADO*. Retrieved from www.Quickie Q700M - UP-adaptado.es
- Albán Pucha, A. G. (2015). *ANÁLISIS Y SIMULACIÓN AERODINÁMICA DE UNA MOTOCICLETA DE CARRETERA TIPO CUSTOM 125 CC. MEDIANTE DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL (DFC) Y PROPUESTA DE DISEÑO DE UN CARENADO FRONTAL*. Riobamba.
- Aliexpress. (n.d.). *Aliexpress*. Retrieved from <https://es.aliexpress.com/item/2015519483.html>
- autostudio. (n.d.). *autostudio*. Retrieved from www.autostudio.com.ec
- Bruno, G., & Isabelle, L. (n.d.). *Sillas de ruedas*. *Sillas de ruedas*.
- Budynas, R. G., & Nisbett, K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Mexico: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Cañas Delgado, J. (2011). *Ergonomía en los sistemas de trabajo*.
- Canitas. (n.d.). *Canitas*. Retrieved from www.canitas.mx/productos/accesorios-para-silla-de-ruedas/
- Castanier Muñoz Diego Martin, M. I. (2018). *Diseño construcción e implementación de una silla de ruedas eléctrica plegable para una persona con problemas de movilidad*. Cuenca.
- Construction, A. I. (1963). *Allowable compressive*.
- DIPAC. (2016). *DIPAC Productos de acero*. *DIPAC Productos de acero*, 40.
- Especial, D. G. (2012). *Dirección General de Educación Especial*.
- Espin Guerrero, V. R. (2018). *DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA SILLA DE RUEDAS DE BIPEDESTACIÓN CON SISTEMA DE VERTICALIZACIÓN Y LA INCIDENCIA EN SU EFICIENCIA ENERGÉTICA*. Ambato.
- Ferdinand P, B., E. Russell, J. J., & Eisenberg, E. R. (n.d.). *Mecánica vectorial para ingenieros estática*. McGraw-Hill.
- Gracomaq. (2018). *HORNOS VASCULANTES PARA FUNDICIÓN DE ORO, ALUMINIO, BRONCES Y LATONES*. Retrieved from *HORNOS VASCULANTES PARA FUNDICIÓN DE ORO, ALUMINIO, BRONCES Y LATONES*: https://www.gracomaq.net/index_archivos/HORNOSMETALES.htm
- Gustavo, G. (n.d.). *Como diseñar una silla*.
- Instituto Alemán para la Normalización, D. 3. (1981). *Dimensiones del cuerpo humano*.

- Instituto nacional de la infraestructura física educativa. (2012). *Normas y especificaciones para estudio, proyectos, construcción, e instalaciones*. Retrieved 01 04, 2020, from Normas y especificaciones para estudio, proyectos, construcción, e instalaciones.
- Invacare. (2020). *La boutique de la salud*. Retrieved from <https://www.sci-geriatria.com/productos-ortopedia/venta/sillas-ruedas/plegables/aluminio/vertic/>
- Medical, S. (n.d.). Retrieved from <https://www.sunrisemedical.co.uk/support/bulletins/technical-bulletins-2015/technical-bulletins-2015>
- Moya Ortega, E. B. (2016). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GATAS AUTOMÁTICAS INDEPENDIENTES PARA CADA NEUMÁTICO DE UN VEHÍCULO, MEDIANTE EL ACCIONAMIENTO DE MOTORES ELÉCTRICOS*. Quito.
- ORTOPINOS. (n.d.). *ORTOPINOS, Ortopedia*. Retrieved from <https://ortopinos.com/producto/silla-de-ruedas-manual-de-bipedestacion-electrica-action-vertic/>
- Ortoweb. (n.d.). *Blog de ortopedia de Ortoweb*. Retrieved from www.ortoweb.com/blogortopedia/medidas-de-neumaticos-para-sillas-de-ruedas-o-scooters
- Plan Nacional del Buen Vivir, 2.-2. (2013-2017). Plan Nacional del Buen Vivir.
- Rivas, R. (2007). Ergonomía en el diseño y la producción industrial. In R. Rivas, *Ergonomía en el diseño y la producción industrial*. Buenos Aires.
- Robert, M. (2006). *Mecánica de materiales*.
- Rodriguez, P. O. (2015). *Estimación del límite de vuelco de un vehículo comercial mediante ANFIS*. Leganes .
- Smith, N. (2014, 12 20). *Excela Health*. Retrieved from <https://www.excelahealth.org/health-library/article?chunkid=96908&lang=Spanish&db=hls>
- Suarez, O. G. (n.d.). *Construcción de una silla de ruedas eléctrica para bipedestación* .
- TheraMart. (n.d.). *TheraMart, Therapeutic products*. Retrieved from <https://theramart.com/blogs/de-salud/cual-es-la-postura-correcta-en-la-silla-de-ruedas>
- Torres Olguin, J. F. (2012, 07 05). *DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y FACILITADORES DE RESILIENCIA EN ACCESIBILIDAD AL MEDIO FÍSICO*. Colombia.
- Urrutia Urrutia, F. (2016). *Características antropométricas de personas con discapacidad móvil inferior y su incidencia en el diseño de una silla de ruedas*. Ambato.
- Wikipedia. (n.d.). *Wikipedia enciclopedia libre*. Retrieved from [www. Wikipedia/espuma](http://www.Wikipedia/espuma) PU

ANEXOS

ANEXO A. Análisis de material en CESEDUPACK



Fuente: Autor

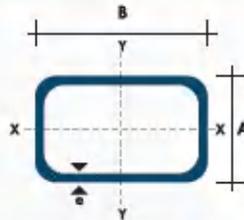
ANEXO B. Tubo estructural rectangular.

TUBO ESTRUCTURAL RECTANGULAR



Especificaciones Generales:

Norma	NTE INEN 2415
Calidad:	SAE J 403 1008
Acabado:	Acero negro o galvanizado
Largo normal:	6.00 m y medidas especiales
Dimensiones:	Desde 20mm x 40mm o 50mm x 150mm
Espesores:	Desde 1,20mm a 3,00mm



Dimensiones			Peso Kg/m	Área cm ²	Ejes Y-Y		Ejes X-X			
A mm	B mm	Espesor (e) mm			I cm ⁴	W cm ³	I cm ⁴	W cm ³	I cm ³	
20	40	1.2	1.09	1.32	2.61	1.30	1.12	0.88	0.88	0.83
20	40	1.5	1.35	1.65	3.26	1.63	1.40	1.09	1.09	0.81
20	40	2.0	1.78	2.14	4.04	2.02	1.37	1.33	1.33	0.79
25	50	1.5	1.71	2.10	6.39	2.56	1.74	2.19	1.75	1.02
25	50	2.0	2.25	2.74	8.37	3.35	1.75	2.80	2.24	1.01
25	50	3.0	3.30	4.14	12.66	5.02	1.74	3.99	3.19	0.99
30	50	1.5	1.88	2.25	7.27	2.91	1.80	3.32	2.21	1.21
30	50	2.0	2.41	2.94	9.52	3.81	1.80	4.28	2.85	1.21
30	50	3.0	3.30	4.21	12.78	5.11	1.74	5.68	3.77	1.16
30	70	2.0	3.03	3.74	22.20	6.34	2.44	5.85	3.90	1.25
30	70	3.0	4.48	5.41	30.50	8.71	2.37	7.84	5.23	1.20
40	60	1.5	2.29	2.91	14.90	4.97	2.26	7.94	3.97	1.65
40	60	2.0	3.03	3.74	18.08	6.13	2.22	9.81	4.90	1.62
40	60	3.0	4.48	5.41	25.31	8.44	2.16	13.37	6.69	1.57
30	70	1.5	2.34	2.91	18.08	5.17	2.49	4.76	3.17	1.28
30	70	2.0	2.93	3.74	22.20	6.34	2.44	5.85	3.90	1.25
30	70	3.0	4.25	5.41	30.50	8.71	2.37	7.84	5.23	1.20
40	80	1.5	2.76	3.74	31.75	7.94	2.81	10.77	5.39	1.70
40	80	2.0	3.66	4.54	37.32	9.33	2.87	12.70	6.35	1.67
40	80	3.0	5.42	6.61	52.18	13.04	2.81	17.49	8.75	1.63
50	100	2.0	4.52	5.74	74.94	14.99	3.61	25.65	10.26	2.11
50	100	3.0	6.71	8.41	106.34	21.27	3.56	35.97	14.39	2.07
50	150	2.0	6.17	7.74	207.45	27.66	5.18	37.17	14.87	2.19
50	150	3.0	9.17	11.41	298.35	39.78	5.11	52.54	21.02	2.15

Fuente: (DIPAC, 2016)

ANEXO C. Tubo mecánico redondo.

TUBO MECÁNICO REDONDO



Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 2415
Caldad:	JIS 3141 SPCC-SD
Acabado:	Acero negro o galvanizado
Largo normal:	6,00m y medidas especiales
Dimensiones:	Desde 1/2" a 2 1/2"
Espesores:	Desde 0,80mm a 1,50mm

NOMENCLATURA	
Area	Área de la sección transversal del tubo, cm ²
I	Momento de inercia de la sección, cm ⁴
W	Módulo resistente de la sección, cm ³
r	Radio de giro de la sección, cm



Diámetro Exterior (D)	Espesor		Peso		Propiedades		
	Pulg	mm	t	P	A	I	W
1/2	12,70	0,95	1,88	0,38	0,06	0,09	0,41
		1,10	2,10	0,40	0,07	0,11	0,41
		1,50	2,82	0,53	0,08	0,13	0,39
5/8	15,88	0,95	2,28	0,44	0,12	0,15	0,51
		1,10	2,64	0,51	0,14	0,18	0,52
		1,50	3,54	0,68	0,18	0,22	0,51
3/4	19,05	0,95	2,70	0,54	0,22	0,23	0,64
		1,10	3,18	0,62	0,25	0,26	0,63
		1,50	4,20	0,83	0,32	0,34	0,62
7/8	22,22	0,95	3,18	0,63	0,36	0,32	0,75
		1,10	3,66	0,73	0,41	0,37	0,75
		1,50	4,82	0,98	0,53	0,47	0,74
1	25,40	0,95	3,60	0,73	0,55	0,43	0,87
		1,10	4,20	0,84	0,62	0,49	0,86
		1,50	5,64	1,13	0,81	0,64	0,86
1 1/4	31,75	0,95	4,50	0,92	1,09	0,69	1,18
		1,10	5,22	1,06	1,24	0,78	1,08
		1,50	7,08	1,43	1,63	1,03	1,07
1 1/2	38,10	0,95	5,40	1,11	1,91	1,00	1,31
		1,10	6,24	1,28	2,19	1,15	1,31
		1,50	8,46	1,72	2,89	1,52	1,30
1 3/4	44,45	0,95	6,24	1,30	3,07	1,38	1,54
		1,10	7,26	1,50	3,52	0,16	1,53
		1,50	9,84	2,02	4,67	2,10	1,52
1 7/8	47,63	0,95	6,78	1,40	3,80	1,60	1,65
		1,10	7,80	1,61	4,35	1,83	1,64
		1,50	10,26	2,17	5,79	2,43	1,63
2	50,80	0,95	7,20	1,49	4,62	1,82	1,76
		1,10	8,34	1,72	5,30	2,09	1,76
		1,50	10,80	2,32	7,06	2,78	1,74
2 3/8	60,33	1,50	13,20	2,77	12,00	3,98	2,08
2 1/2	63,50	1,50	14,04	2,82	14,05	4,42	2,19

Fuente: (DIPAC, 2016)

ANEXO D. Gato mecánico eléctrico

Descripción

CODIGO 10016216

Descripción: Gato eléctrico.

Capacidad de carga: 2 toneladas

DC voltaje: 13.5 V

Corriente máxima: 13 A

Rango de altura de elevación: 12 ~ 35 cm

Longitud del cable de control: 4.5 m

NW: 16 kg

GW: 23.6 kg

Tamaño del paquete: 58 x 47 x 28 cm



Fuente: Autor

ANEXO E. Costes de tubería

COMERCIAL VERA			
Tipo de tubo	Cantidad	Color	Precio total (\$)
Tubo redondo ¾" Acero negro o Galvanizado	1m	Negro	2
Tubo redondo ¾" Acero inoxidable	1m	-	4

Fuente: Autor

ANEXO F. Encuesta realizada



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
INSTITUTO DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO
ENCUESTA:



NOTA: SE PIDE QUE EL ENTREVISTADO RESPONDA DE LA MANERA MAS HONESTA LOS ITEMS PLANTEADOS YA QUE ESTOS DATOS SERAN UTILIZADOS PARA EL PROYECTO DE TITULACION DENOMINADO “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SILLA BIPEDESTADORA PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN SUS EXTREMIDADES INFERIORES”

DATOS INFORMATIVOS:

Nombres y apellidos del entrevistado:

CI:

CIUDAD:

.....

1. Sexo	Masculino <input type="checkbox"/>	Femenino <input type="checkbox"/>
2. Edad	
3. Estatura	
4. Peso (kg)	
5. Discapacidad	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>

En caso de ser positivo el resultado especifique que tipo de discapacidad posee:

.....

SE AGRADECE GENTILMENTE POR SU VALIOSO APORTE PARA ESTA INVESTIGACIÓN

Fuente: Autor

ANEXO G. Tabulación de los 200 datos obtenidos en la encuesta

EDAD (25 - 35 AÑOS)	PESO	ESTATURA
	87	1.68
	92	1.69
	91	1.7
	94	1.7
	93	1.67
	89	1.68
	98	1.7
	88	1.67
	90	1.65
	90	1.66
	92	1.7
	96	1.72
	90	1.78
	88	1.63
	89	1.6
	87	1.7
	88	1.6
	90	1.65
	75	1.66
	96	1.7
	94	1.72
	80	1.78
	77	1.63
	87	1.6
	90	1.68
	92	1.69
	96	1.7
	89	1.7
	87	1.67
	85	1.68
	84	1.7
	80	1.66
	79	1.65
	80	1.66
	89	1.7
	88	1.72
	86	1.78
	80	1.63
	75	1.6
	70	1.7
	86	1.6

	89	1.65
	90	1.66
	91	1.7
	95	1.72
	86	1.78
	84	1.63
	80	1.6
	86	1.69
	76	1.7
	80	1.7
	88	1.67
	95	1.68
	87	1.7
	71	1.6
	75	1.65
	85	1.66
	96	1.7
	90	1.72
	98	1.78
	96	1.63
	95	1.69
	89	1.7
	87	1.6
	92	1.65
	72	1.66
	71	1.7
	73	1.72
	75	1.78
	88	1.63
	75	1.6
	90	1.68
	80	1.69
	76	1.7
	89	1.7
	96	1.67
	82	1.68
	84	1.7
	86	1.69
	87	1.65
	87	1.66
	94	1.7
	90	1.72
	87	1.78
	89	1.63
	90	1.6

	76	1.7
	80	1.6
	90	1.65
	80	1.66
	76	1.7
	89	1.72
	96	1.78
	82	1.63
	84	1.69
	86	1.7
	87	1.7
	87	1.67
	87	1.68
	92	1.7
	91	1.68
	94	1.65
	93	1.66
	89	1.7
	98	1.72
	76	1.78
	89	1.63
	96	1.6
	82	1.7
	84	1.6
	86	1.65
	87	1.66
	87	1.7
	94	1.72
	90	1.78
	87	1.63
	89	1.69
	90	1.68
	76	1.69
	80	1.7
	90	1.7
	80	1.67
	76	1.68
	89	1.7
	96	1.66
	84	1.65
	80	1.66
	88	1.7
	80	1.72
	89	1.78
	88	1.63

	86	1.68
	80	1.7
	75	1.6
	70	1.65
	86	1.66
	89	1.7
	90	1.72
	91	1.78
	95	1.63
	86	1.69
	84	1.7
	72	1.7
	71	1.67
	76	1.68
	80	1.7
	88	1.6
	75	1.65
	90	1.66
	80	1.7
	76	1.72
	89	1.78
	96	1.63
	82	1.66
	84	1.7
	86	1.6
	87	1.65
	87	1.66
	94	1.7
	90	1.72
	87	1.78
	89	1.63
	90	1.69
	86	1.68
	80	1.69
	90	1.7
	80	1.7
	76	1.67
	96	1.68
	94	1.7
	80	1.6
	77	1.65
	87	1.66
	90	1.7
	92	1.72
	96	1.78

	89	1.63
	87	1.65
	85	1.7
	84	1.65
	80	1.65
	90	1.66
	80	1.7
	89	1.72
	88	1.78
	90	1.63
	80	1.69
	90	1.7
	90	1.7
	83	1.67
	90	1.68
	80	1.72
	92	1.68
	91	1.65
	96	1.66
	81	1.7
	88	1.72
	78	1.78
	88	1.6
	87	1.66
SUMA (200 Datos)	17230	336.24
PROMEDIO	86.15	1.6812

Fuente: Autor

ANEXO H. Tiempo de producción

Proceso de manufactura	Horas/minutos
Corte de tubería	15min
Soldadura	30min
Ensayo de tintas penetrantes	1h
Montaje de llantas posteriores y delanteras	30min
Cubierta exterior y pintura	45min
Corte y montaje de tabla MDF	30min
Corte y montaje de esponjas	30min
Doblado y sujeción de esponjas	10min
Corte de cuerina y tapizado	1h
Montaje de correas de seguridad	20min
Montaje del gato mecánico eléctrico	15min
Total	5h:45min=5.750h

El tiempo de producción empleado en la manufactura de la silla es de cuatro horas y cuarenta y cinco minutos empleando un solo operador, por lo que se estima que para una producción en serie con cuatro operadores se puede manufacturar cuatro sillas por día.

Fuente: Autor

ANEXO I. Garantía del producto

Garantía:

La garantía es la confiabilidad representada en un papel que una empresa o negocio ofrece a sus clientes por la adquisición de sus productos, es totalmente gratuita no se puede cobrar un monto extra por algo que corresponde responsabilizarse como empresa por ejemplo cuando un producto está dañado, en malas condiciones o dejó de funcionar al poco tiempo generalmente en equipos electrónicos lo ideal es ofrecer un año de garantía o dos si el artefacto es nuevo. Generalmente maquinaria y vehículos de transporte tienen cinco años de garantía.



Condiciones de garantía:

Para que la garantía sea efectiva el cliente debe cumplir lo siguiente:

La garantía no aplica si un tercero no autorizado repara el producto

La garantía no aplica cuando se comprueba que el daño fue ocasionado de manera intencional

Tiempo de garantía del producto:

Considerando lo anterior se establece ofrecer para la silla bipedestadora dos años de garantía ya que:

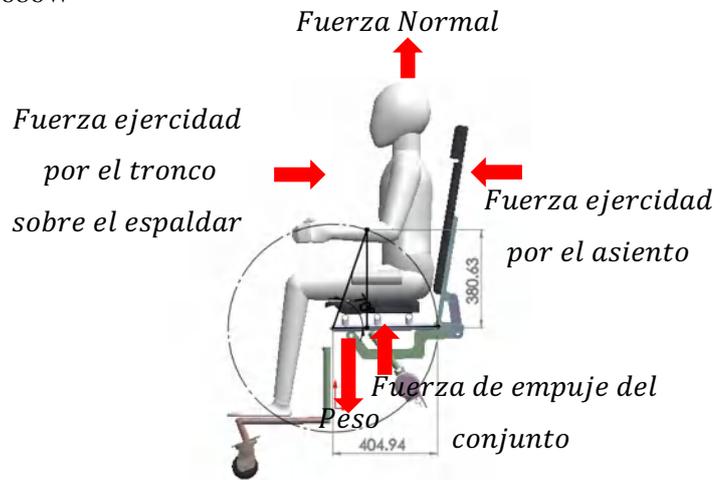
Esta manufacturada con materiales estandarizados de calidad.

La batería incorporada tiene una vida útil de tres años

La carrocería, tapizado, asiento espaldar y apoya cabeza cinco años de vida útil.

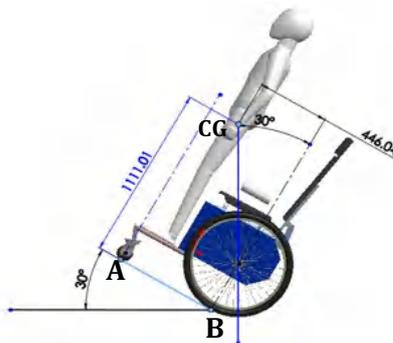
ANEXO J. Datos obtenidos en las pruebas de funcionamiento

Parámetros	Peso(kg)	Potencia (W)	Velocidad(m/s)	Tiempo requerido para la carga(s)
Condiciones EN PLANO				
Peso máximo de la persona	100	Datos: F=1475.88N d=h=0.381m		
Asiento, espaldar, platina impulsora.	3.440	W= F.d W=1475.88N(0.381m) W=562.310J P= W/t P=562.310J/120s P=4.686W	V= d/t V=0.381m/120s V=0.003m/s	2min=120s
Peso total	103.440			



CON INCLINACIÓN:

Nota: Para bipedestar en rampas que posean diversos ángulos de inclinación, es necesario contar con la ayuda de una persona, ya que bipedestar en rampa resulta sumamente peligroso, por el desequilibrio del centro de gravedad CG(446.04,1111.01), como se indica en la figura a continuación de este párrafo, con un ángulo de rampa de 30°, el centro de gravedad de la persona se proyecta fuera de la base de sustentación(A-B) y peor aún con el asiento y espaldar bipedestado, ya que estos incurren mayor peso, por tanto como consecuencia de esto provoca un accidente (vuelco), razón por la cual para la condición inclinada, no se ha calculado la potencia, ni la velocidad, ni el tiempo de bipedestación.



ANEXO K. Análisis de soldadura para las juntas de la estructura

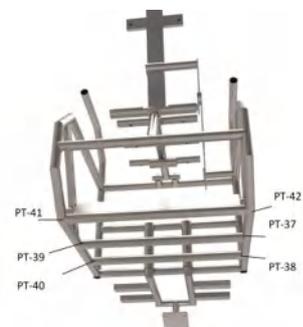
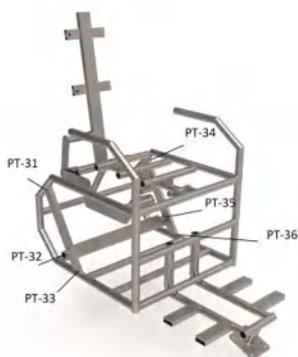
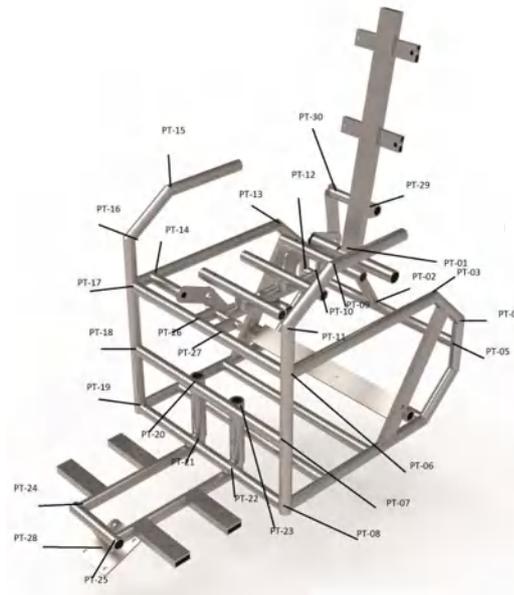




Ing. Javier Buitrón
Supervisor Mecánico

Cliente

Lugar y Fecha de creación: Riobamba, 18 Mayo del 2021



Fuente: Autor



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 13 / 08 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Luis Eduardo Ayala Rojas</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
<i>Instituto de Posgrado y Educación Continua</i>
Título a optar: <i>Magister en Diseño Mecánico</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.</i>



0078-DBRAI-UPT-IPEC-2021