



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA
COLEGIO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA

“PROTOTIPO DE SILLA BIPEDESTADORA
ASEQUIBLE”

TESIS PRESENTADA PARA OBTENER
EL GRADO DE: LICENCIATURA EN
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

PRESENTA:

ROBERTO ANGEL MARCELINO ZARATE

DIRECTOR DE TESIS:
DR. JOSÉ ISRRAEL RODRÍGUEZ MORA

ASESOR DE TESIS:
M. I. MARTIN CASTILLO FLORES

PUEBLA, PUEBLA A 24 DE NOVIEMBRE DEL 2023

Índice

Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos	v
Abstract.....	vi
Resumen	vii
I Introducción.....	8
II Planteamiento del problema	10
II.I Justificación.....	12
II.II Objetivo general	15
II.III Objetivos especificos	15
II.IV Pregunta de investigacion	16
II.V Hipótesis	16
III Marco Teórico.....	17
III.I La discapacidad	17
III.II Etiología	17
III.III Discapacidad física, sensorial y mental	18
III.IV Discapacidad en México	21
III.V Anatomía humana.....	25
III.VI Mecanismo, maquina	31
III.VII Herramientas de apoyo a la movilidad para personas con discapacidad motriz	36
IV Metodología.....	44
IV.I Tipo de investigación	44
IV.II Población o universo de estudio	45
V Desarrollo	50
V.I Identificación y evaluación de los requerimientos técnicos.....	52

V.II	Estudio grafico del movimiento de transición sedente a bípeda	58
V.III	Desarrollo de modelo CAD.....	61
V.IV	Conceptualización del mecanismo motriz	63
V.V	Analís de esfuerzos del mecanismo motriz	67
V.VI	Análisis de movimiento	68
V.VII	Ensamblaje del prototipo y aplicación de mejora continua	75
VI	Conclusión	89
	Bibliografía	90
	Anexos	95
	ÍNDICE DE FIGURAS	96

Dedicatoria

Soy consciente de que este trabajo no solo es fruto de mi esfuerzo y dedicación por eso querido Dios a ti dedico este logro, reconociendo que sin tu amor incondicional, tu infinita misericordia y tu constante apoyo, no habría sido posible completar este arduo camino. Sé que eres la fuente de toda sabiduría y fortaleza, has sido mi guía constante a lo largo de esta travesía académica que culmina con la finalización de mi tesis. Me has iluminado con tu sabiduría, fortalecido con tu gracia y me has mostrado el camino incluso en los momentos más oscuros.

También quiero recordar a mis queridos abuelos, Margarito y Ofelia, quienes ya no están entre nosotros físicamente, pero cuyos valores, amor y sabiduría siguen viviendo en mi corazón. Ellos, con su ejemplo de vida, me inspiraron a perseverar y a buscar la excelencia en todo lo que hago. Esta tesis es un homenaje a su memoria y un agradecimiento por el legado que dejaron en mi vida.

Que en la eternidad, Margarito y Ofelia encuentren la paz y la alegría que merecen. Que tu luz divina, Señor, los acoja en su seno.

En este momento de alegría y reflexión, doy gracias a Dios y a mis abuelos, y pido que sigan guiándome en mi camino de aprendizaje y servicio, siempre en tu nombre.

Agradecimientos

En este momento tan significativo deseo expresar mi más profundo agradecimiento por el apoyo incondicional y las contribuciones invaluable que me brindaron han sido la razón por la que hoy puedo decir que he completado esta etapa con éxito.

Extiendo mi gratitud a mis padres y hermanos quienes me brindaron inquebrantablemente su confianza, amor y apoyo, gracias a ello, han hecho posible que llegue hasta aquí y les estaré eternamente agradecido. Mi familia siempre ha sido el pilar fundamental y agradezco el interés y cariño que siempre me brindan ha sido un faro en los momentos de dificultad y una fuente de alegría en los momentos de celebración.

A mis amigos les agradezco por estar siempre a mi lado su ayuda, consejos y aliento inquebrantable me han dado la fuerza necesaria para continuar. Cada uno de ustedes ha aportado una chispa especial a mi vida, y estoy agradecido por la amistad que compartimos.

Y sin pasar desapercibido agradezco a mi apreciado asesor de tesis, José Israel Rodríguez Mora. Su orientación, paciencia y sabiduría han sido esenciales en la realización de este trabajo. Gracias por compartir sus conocimientos y por ser un guía excepcional en este proceso de investigación.

También quiero reconocer al laboratorio de investigación de alta tecnología y desarrollo de prototipos y patentes por proporcionar los recursos necesarios para llevar a cabo este proyecto.

A todos los mencionados y a aquellos que, de una u otra manera, han sido parte de este logro, les doy las gracias de todo corazón. Este éxito no solo es mío, sino de todos ustedes que han estado a mi lado

Abstract

The main objective of this project is the development and implementation of a scale prototype of a standing mechanical chair with three operating positions for people with paraplegia, quadriplegia or some motor disability. To achieve this, the concurrent design approach was used, which allowed the selection of the alternatives that best fit the requirements of the user and their relatives, the conception, affordable, easy-to-maintain, repair and modify standing chair was reached simple.

The design of the mechanical components of the prototype was carried out using design software. The necessary calculations were made and the designs were verified through 3D modeling. In addition, the analysis by the finite element method was used using the ANSYS software, which allowed evaluating the stress and deformation states of the prototype under maximum load. This analysis is crucial to ensure the resistance and functionality of the mechanism in various situations of use. Finite element analysis provides confidence that the prototype meets the established strength and safety requirements. This methodology makes it possible to make modifications and improvements in the design in an efficient manner, before proceeding to manufacture the prototype on a full scale.

The aim was to develop a standing chair that not only meets the needs of people with motor disabilities, but is also accessible, durable and easy to maintain. The objective is to provide a solution that improves the quality of life of users, gives them greater independence and mobility in their day to day.

Resumen

Este proyecto tiene como objetivo principal el desarrollo e implementación de un prototipo a escala de una silla mecánica de bipedestación con tres posiciones operativas para personas con paraplejia, cuadriplejia o alguna discapacidad motriz. Para lograrlo, se utilizó el enfoque de diseño concurrente, el cual permitió seleccionar las alternativas que mejor se ajustaran a los requerimientos del usuario y sus familiares, se llegó a la concepción de una silla bipedestadora, asequible, de fácil mantenimiento, reparación y modificación sencilla.

El diseño de los componentes mecánicos del prototipo se llevó a cabo mediante la utilización del software de diseño. Se realizaron los cálculos necesarios y se verificaron los diseños mediante la modelación en 3D. Además, se empleó el análisis por el método de elementos finitos utilizando el software ANSYS, lo cual permitió evaluar los estados de esfuerzos y deformaciones del prototipo bajo carga máxima. Este análisis es crucial para garantizar la resistencia y funcionalidad del mecanismo en diversas situaciones de uso. El análisis por elementos finitos brinda la confianza de que el prototipo cumple con los requisitos de resistencia y seguridad establecidos. Esta metodología permite realizar modificaciones y mejoras en el diseño de manera eficiente, antes de proceder a la fabricación del prototipo a escala real.

Se buscó desarrollar una silla de bipedestación que no solo cumpla con las necesidades de las personas con discapacidad motriz, sino que también sea accesible, duradera y fácil de mantener. El objetivo es proporcionar una solución que mejore la calidad de vida de los usuarios, les brinde mayor independencia y movilidad en su día a día.

/ Introducción

La discapacidad es un tema de gran relevancia en nuestra sociedad actual, ya que las limitaciones y dificultades pueden surgir de diversas formas, ya sea por condiciones perinatales, accidentes o el deterioro físico asociado al paso del tiempo. Estas situaciones pueden alterar significativamente la armonía de una familia, generando tristeza, inestabilidad y complicaciones en la vida diaria de cada uno de sus miembros.

Aunque en el siglo XXI hemos presenciado avances tecnológicos destinados a reducir las brechas de estas limitaciones y facilitar la realización de actividades cotidianas vitales para las personas con discapacidad, es importante recordar que no todas ellas tienen acceso a esta tecnología. Según datos del Censo de Población y Vivienda 2020, en nuestro país, del total de población un 5.7% presenta algún tipo de discapacidad o problema mental [1].

Es importante destacar que no existe una edad específica a partir de la cual los adultos mayores requieren una silla de ruedas. La necesidad de una silla de ruedas depende de varios factores, como la salud y la capacidad física de la persona, así como su entorno y sus necesidades diarias. Algunos adultos mayores pueden requerir una silla de ruedas de manera temporal debido a una lesión o enfermedad, mientras que otros pueden necesitarla de forma permanente a medida que envejecen y experimentan una disminución de la movilidad y capacidad física.

Otro punto importante es que las sillas de ruedas convencionales son estandarizadas y no cumplen necesariamente con las necesidades específicas de cada usuario. En México, no se cuenta con una cifra exacta de cuántas personas requieren una silla de ruedas con funciones específicas. Sin embargo, en nuestro país se estima que un porcentaje significativo de la población podría requerir de sillas de ruedas especiales debido a diferentes condiciones de salud o

discapacidad, como dificultades de movilidad, problemas de columna vertebral, entre otros.

El acceso a sillas de ruedas especiales adecuadas y asequibles es un derecho fundamental de las personas con discapacidad, un factor clave para su inclusión social y económica [2]. Es necesario abordar esta problemática buscando soluciones que se adapten a las necesidades individuales de cada usuario, mejorando su calidad de vida y promoviendo su plena participación en la sociedad.

En este contexto, surge la importancia de desarrollar sillas de ruedas personalizadas que cumplan con los requisitos específicos de cada persona, brindando una solución óptima que les permita llevar una vida activa y autónoma. A través de este proyecto de investigación, se busca diseñar y desarrollar una silla de ruedas con funcionalidades específicas que se ajusten a las necesidades de las personas con discapacidad motriz, considerando aspectos como la accesibilidad, la comodidad, el costo, la facilidad de mantenimiento y reparación.

El presente trabajo se centrará en la identificación de las necesidades de los usuarios, la conceptualización y diseño del mecanismo, la simulación y análisis de los componentes, así como la validación del prototipo a través de pruebas. Con esto, se espera contribuir al desarrollo de soluciones innovadoras que mejoren la calidad de vida de las personas con discapacidad y promuevan su inclusión en todos los ámbitos de la sociedad.

// Planteamiento del problema

En los últimos años, en México ha surgido un creciente interés en el tema de la discapacidad, aunque no existen datos precisos que respalden esta afirmación, se evidencia un aumento en las iniciativas de concientización y sensibilización sobre el tema. Sin embargo, resulta difícil estimar con exactitud el número de personas que nacen o adquieren discapacidades físicas a lo largo de su vida [3], ya que esto depende de diversos factores como la edad, la salud y el estilo de vida. La probabilidad de experimentar alguna forma de discapacidad aumenta significativamente con la edad, especialmente a partir de los 60 años, y si se consideran también los indicadores de discapacidades desarrolladas durante la gestación, el período perinatal y las discapacidades congénitas, evidencia de que la discapacidad es un tema relevante para todos[4].

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020, del total de población en el país 126, 014, 024, 5.7% 7, 168,178 tiene discapacidad y/o algún problema o condición mental. La actividad con dificultad más reportada entre las personas con discapacidad y/o condición mental es caminar, subir o bajar que corresponde al 41%. Se estima que alrededor del 20.3% de la población mexicana de 60 años y más presenta alguna discapacidad, lo que equivale a aproximadamente 2.9 millones de personas [1]. Es importante destacar que estas cifras pueden variar dependiendo de la fuente y la metodología utilizada para obtener los datos, así como de la definición de discapacidad utilizada. Además, es posible que existan personas mayores con discapacidades que no han sido diagnosticadas o que no se encuentran registradas en los sistemas de salud o de estadísticas.

Otro dato relevante es que el 19% de las personas con discapacidad o problemas de salud mental mayores de 15 años son analfabetas [1]. A pesar de los esfuerzos implementados mediante políticas y programas para mejorar el acceso a servicios y oportunidades, así como el aumento en organizaciones y grupos de la sociedad civil que abordan esta problemática, aún existe una brecha significativa en la inclusión de las personas con discapacidad en la sociedad.

De acuerdo con el artículo 25 de la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, se reconoce el derecho a contar con servicios de salud que aseguren la asistencia necesaria para el desarrollo óptimo de las personas con discapacidad [5]. Sin embargo, en México, aunque el 76% (5,426,553) de las personas con discapacidad o problemas de salud mental cuentan con afiliación a servicios de salud, muchas de ellas no reciben la asistencia adecuada para lograr una integración óptima en la sociedad [1]. Esto se debe, en parte, a la falta de recursos económicos de las personas con discapacidad y a la limitada capacidad del sistema de salud para proporcionarles los elementos necesarios.

Ante esta problemática, resulta necesario abordar la inclusión de las personas con discapacidad desde diferentes aspectos, especialmente en lo que respecta a su movilidad. El desarrollo de un prototipo asequible a escala de una silla de ruedas bipedestadora podría ser una solución innovadora para mejorar la calidad de vida y la integración de las personas con discapacidad. Sin embargo, hasta el momento no se ha desarrollado una silla de ruedas bipedestadora asequible que se adapte a las necesidades y posibilidades económicas de la población mexicana con discapacidad. Por lo tanto, es necesario investigar y diseñar un prototipo que sea accesible y funcional, teniendo en cuenta las limitaciones económicas de las personas con discapacidad adecuando las capacidades del sistema de salud en México.

Tomando en cuenta el primer trimestre de 2022 el porcentaje de la población con ingreso laboral inferior al valor monetario de la canasta alimentaria (pobreza laboral) es de 38.3%. Si esta información la contrastamos con la situación financiera, 52.3% de las personas con discapacidad en el país obtienen la mayor parte de sus ingresos de su familia. Quienes reciben la mayor parte de sus ingresos por su propio trabajo son alrededor de cuatro de cada diez, y quienes los reciben de una pensión son casi tres de cada diez [6].

El problema planteado consiste en la falta de una silla de ruedas bipedestadora asequible y adaptada a las necesidades de la población mexicana con

discapacidad. A pesar de los esfuerzos por mejorar la inclusión de las personas con discapacidad, persisten dificultades en el acceso a servicios de salud y en la adquisición de elementos que les permitan una integración óptima en la sociedad. Por lo tanto, es necesario investigar, diseñar y desarrollar un prototipo asequible de silla de ruedas bipedestadora que contribuya a mejorar la movilidad y la calidad de vida de las personas con discapacidad en México.

II.I Justificación

El problema que se pretende abordar en esta investigación es la creación de un prototipo a escala de una silla de ruedas bipedestadora asequible que satisfaga las necesidades individuales de los usuarios.

Este problema es importante debido a que las personas que requieren de una silla de ruedas se enfrentan a muchos desafíos a lo largo de su vida pues a pesar de que utilizar una silla de ruedas no es sinónimo de estar enfermo solo representa una incapacidad del individuo, ellos tienen mayor riesgo a desarrollar enfermedades y trastornos debido a su discapacidad física y la falta de movilidad [7].

El problema se sitúa en un contexto amplio debido a que algunas de las enfermedades más recurrentes que pueden llegar a desarrollar son:

- Lesiones por presión ya que la falta de movilidad y el tiempo que se pasa sentado en una misma posición durante un tiempo prolongado puede aumentar el riesgo de desarrollar estas lesiones.
- Dolor de espalda que surge debido a la tensión en la columna vertebral y la falta del apoyo adecuado.
- Problemas respiratorios, presentes debido a la falta de actividad física y la posición sedentaria prolongada.
- Lesiones musculares, resultado de la falta de movilidad y rigidez que se presenta [8].

Los objetivos de la investigación son analizar las necesidades que requieren las personas con alguna discapacidad motriz, como estas afectan en su vida cotidiana y evaluar las características, funciones y deficiencias que presentan las sillas bipedestadoras existentes en el mercado.

En todo el mundo se buscan soluciones que permitan reducir las barreras que impiden la integración de las personas con discapacidad. Aunque en nuestro país existen muchos movimientos y organizaciones que nos brindan concientización respecto al tema, la desinformación y los programas que se brindan no son suficientes para acortar las barreras físicas, sociales, económicas y educativas a las que se encuentran expuestos. Aunque se promulgan disposiciones legislativas para salvaguardar sus derechos y oportunidades con respecto al empleo, acceso a los servicios e instalaciones, estas no se enfocan a la cuestión fundamental que es su bienestar y comodidad para que puedan disfrutar de una vida plena.

Es necesario llevar a cabo esta investigación porque estos problemas requieren mucho tiempo, dinero y esfuerzo no solo para los pacientes con esta discapacidad sino también para las personas que las acompaña en su vida diaria. Por otro lado, existen costos sociales en forma de medicamentos, tratamiento, atención médica, transporte y falta de productividad, entre otros.

La mayoría de personas que padecen alguna enfermedad motriz dependiendo del grado de afectación no son capaces de realizar sus actividades cotidianas sin la asistencia de otra persona, lamentablemente aun no desarrollamos el pensamiento de adecuar los espacios del hogar para este tipo de situación, tenemos la idea errónea de que todo el tiempo nos conservaremos en el estado actual o despreciamos la posibilidad de que estamos expuestos a lesiones que pueda acabar con nuestra movilidad. Regularmente al estar en esta circunstancia se depende físicamente de los familiares o cuidadores quienes se encargan de moverlos, cargarlos y trasladarlos lo cual conlleva a un desgaste físico y puede derivar consecuencias en la salud de las personas que se encargan de los cuidados como ruptura de nervio, hernias, desgarres, lesiones en la columna entre los más comunes.

Una de las principales deficiencias de nuestro país es la falta de incentivos que se brindan para el desarrollo de tecnología que ayuden a crear soluciones que sean adecuadas a nuestro entorno, acorten las brechas existentes, y creen nuevas oportunidades de negocios, ya que como se menciona con anterioridad existen productos que cumplen con los requerimientos, pero estos tienen un elevado costo, son manufacturados en otros países sin olvidar que el entorno económico social e infraestructural son completamente distintas.

La creación del prototipo a escala de una silla de ruedas bipedestadora asequible se justifica por su potencial para mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad, prevenir enfermedades asociadas a la falta de movilidad, superar barreras físicas, sociales, y llenar el vacío de soluciones adecuadas en el mercado nacional. El proyecto tiene como objetivo desarrollar una silla funcional, resistente y segura, capaz de simular las funciones de una silla de ruedas bipedestadora real y adaptarse a diferentes usuarios. Al lograr esto, se espera mejorar la condición, autoestima de los usuarios, así como brindarles una mayor autonomía y comodidad en su vida diaria.

II.II Objetivo general

Diseñar un prototipo a escala de una silla de ruedas bipedestadora que permita simular las posturas de sedestación, bipedestación y decúbito supino, mediante un sistema mecánico, con el fin de evaluar la viabilidad de las soluciones técnicas para mejorar la movilidad y comodidad de las personas con discapacidad.

II.III Objetivos específicos

Objetivo 1: Realizar el estudio de la anatomía humana y requerimientos de las personas con discapacidad que utilizan sillas de ruedas.

Objetivo 2: Investigar los sistemas mecánicos existentes utilizados en sillas de ruedas bipedestadoras.

Objetivo 3: Diseñar un sistema mecánico innovador que permita simular de manera precisa y segura las posturas de sedestación, bipedestación, decúbito supino.

Objetivo 4: Realizar pruebas con el prototipo para evaluar su funcionalidad, resistencia, seguridad, confort en las diferentes posturas simuladas.

//.IV Pregunta de investigacion

¿Cuáles son las barreras físicas, sociales, económicas y educativas que limitan el acceso de las personas con discapacidad a sillas de ruedas bipedestadoras en México?

¿Cuáles son los sistemas mecánicos existentes utilizados en sillas de ruedas bipedestadoras y cómo pueden adaptarse o mejorarse para satisfacer las necesidades de la población con discapacidad en México?

//.V Hipótesis

El diseño y construcción de una silla de ruedas bipedestadora a escala, que simule las posturas de sedestación, bipedestación y decúbito supino, utilizando un sistema mecánico, es viable y puede proporcionar soluciones técnicas adecuadas para las necesidades de las personas con discapacidad en México.

/// Marco Teórico

Se realiza una descripción general de la biomecánica humana necesaria para realizar la bipedestación.

///.//La discapacidad

La discapacidad se reconoce como una condición inherente a la condición humana y que puede afectar a cualquier persona en algún momento de su vida [2]. En este contexto, se entiende como un término general que abarca deficiencias en las funciones y/o estructuras corporales, limitaciones en la actividad, así como aspectos negativos en la interacción entre el individuo y su entorno [9].

Es importante destacar que la discapacidad abarca una amplia gama de condiciones, desde trastornos leves del movimiento hasta impactos significativos en la vida de las personas que requieren apoyo. Con base en estas definiciones, se justifica la necesidad de diseñar y construir una silla de ruedas bipedestadora asequible, que permita simular las posturas de sedestación, bipedestación y decúbito supino, para mejorar la calidad de vida y autonomía de las personas con discapacidad.

///.// Etiología

La discapacidad puede tener diversas causas que se dividen en cuatro tipos según su origen:

- Causas genéticas: Estas discapacidades son causadas por condiciones genéticas, como cambios en la distribución de cromosomas, translocaciones o mutaciones en el ADN. La mayoría de los casos de

discapacidad genética son enfermedades recesivas que pueden ser provocadas por factores ambientales o genéticos.

- Causas congénitas: La discapacidad se desarrolla durante el embarazo, desde la fecundación e implantación del óvulo en el útero hasta el parto. Factores como la exposición a contaminantes, infecciones, traumatismos, intoxicaciones, problemas nutricionales o emocionales pueden contribuir al desarrollo de discapacidades congénitas [10].
- Causas perinatales: Estas se refieren a las discapacidades que ocurren al momento del nacimiento debido a falta de cuidados o condiciones adversas. Ejemplos de causas perinatales incluyen la privación persistente de oxígeno, accidentes cerebrovasculares durante el trabajo de parto, infecciones del sistema nervioso central, entre otros [10].
- Causas adquiridas: Estas son los defectos que aparecen después del nacimiento y significan un cambio importante en la vida de una persona. Pueden ser resultado de enfermedades, infecciones, traumas, intoxicaciones, problemas nutricionales, emocionales, endocrinos o relacionados con la edad [10].

Estos distintos tipos de causas de discapacidad son fundamentales para comprender los factores que contribuyen a la aparición de discapacidades y guiar el diseño y construcción de una silla de ruedas bipedestadora que pueda abordar las necesidades de las personas con discapacidad en diferentes contextos.

III.III Discapacidad física, sensorial y mental

Todas las discapacidades son causadas por uno o más defectos funcionales o estructurales en un órgano del cuerpo. Estas se dividen en tres categorías principales: discapacidad física, discapacidad sensorial y discapacidad psíquica.

- Discapacidad física: Se refiere a las deficiencias físicas que afectan al sistema locomotor, las extremidades o el sistema nervioso. Esto incluye

condiciones como parálisis, paraplejía, tetraplejía y trastornos de la coordinación del movimiento y la manipulación de objetos [11].

- Discapacidad sensorial: Engloba a las personas con discapacidad visual, auditiva y del habla. Ejemplos de discapacidades sensoriales incluyen la ceguera, sordera y dificultades en el habla [11].
- Discapacidad psíquica: Se refiere a individuos con limitaciones significativas en el funcionamiento intelectual y el comportamiento adaptativo. Esto se manifiesta en dificultades en habilidades conceptuales, sociales y prácticas. Ejemplos de discapacidades psíquicas pueden incluir depresión, bipolaridad, esquizofrenia, entre otros [11].

Es importante tener en cuenta que existe una gran heterogeneidad dentro de cada una de estas categorías, ya que cada persona con discapacidad presenta características y necesidades individuales.

La discapacidad motriz se define como el deterioro del sistema motor que dificulta o imposibilita el desarrollo de habilidades para participar en actividades de la vida diaria, como estar de pie, caminar, moverse, beber, manipular objetos y hacer gestos. Las habilidades motoras son fundamentales en el desarrollo humano, ya que todas las acciones que realiza una persona están basadas en el movimiento del cuerpo. Estas acciones incluyen actividades cotidianas como caminar, comer y hablar. Además, cuando se trata de movimientos dirigidos a un objetivo, se utiliza el término psicomotor, que involucra aspectos cognitivos, afectivos y sensoriales asociados a las acciones y expresiones humanas. Estas acciones requieren control del movimiento y la postura. La discapacidad motriz puede ser causada por disfunciones en el sistema nervioso, muscular y óseo, o por una interrelación de estos sistemas que dificulta o impide el funcionamiento de ciertas partes del cuerpo. Las discapacidades motoras pueden ser temporales o permanentes, y su gravedad puede variar en diferentes casos. En algunos, pueden estar asociadas con otras comorbilidades [12].

El movimiento del cuerpo humano implica la interacción compleja entre los huesos, las articulaciones, los músculos y el sistema nervioso central. Los huesos y las articulaciones proporcionan la estructura y el soporte necesarios para el movimiento, permitiendo que ciertas partes del cuerpo giren o se expandan mientras otras permanecen estacionarias. Por ejemplo, el hombro permite que el brazo gire, levante, baje o gire. Los músculos desempeñan un papel fundamental en el movimiento al contraerse y relajarse, impulsando y controlando los movimientos del cuerpo. Por ejemplo, los músculos de la mano se contraen y se relajan para cerrar o abrir la mano al agarrar o soltar un objeto. El sistema nervioso central, a través de impulsos eléctricos, ordena a los músculos realizar acciones específicas, coordinando y controlando el movimiento.

Cuando se presentan cambios en la ejecución de movimientos voluntarios, ya sea de manera general o específica, la actividad física de una persona puede verse restringida. Estos cambios pueden tener un impacto significativo en la capacidad de una persona para participar plenamente en actividades diarias y limitar su funcionalidad. Es importante comprender y abordar estos cambios en el movimiento para promover la inclusión y garantizar la igualdad de oportunidades para las personas con discapacidad [13].

Las discapacidades motrices se presentan en diferentes formas y pueden variar en cuanto a su grado de afectación. Estas pueden clasificarse en leves, moderadas y severas, aunque es importante tener en cuenta que no se pueden generalizar debido a que cada persona tiene capacidades diferentes. Incluso dentro de una misma condición, como las distrofias musculares, las discapacidades pueden ser progresivas o no progresivas. Las discapacidades motrices pueden tener diferentes orígenes, que incluyen:

- Origen cerebral: Las personas con discapacidades motrices de origen cerebral pueden experimentar dificultades en el control de la postura, la movilidad, los desplazamientos, la manipulación, el lenguaje oral y alteraciones en la percepción [7].

- Origen espinal: Aquellas con discapacidades motrices de origen espinal pueden enfrentar dificultades en la movilidad, los desplazamientos y el control [7].
- Origen muscular: Las personas con discapacidades motrices de origen muscular pueden tener dificultades en la movilidad, el control de la postura, la manipulación y la capacidad respiratoria [7].
- Origen óseo-articular: Aquellos con discapacidades motrices de origen óseo-articular pueden experimentar dificultades en la postura y la manipulación [7].

Es fundamental comprender las diferentes formas y orígenes de las discapacidades motrices para diseñar una silla de ruedas bipedestadora que pueda abordar las necesidades específicas de cada individuo y proporcionar soluciones técnicas adecuadas.

III.IV Discapacidad en México

Según datos del censo de 2020 realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), se estima que al 15 de marzo de 2020 había 126, 014,024 personas viviendo en México. La prevalencia nacional de discapacidad entre las personas con algún problema o condición de salud mental se calcula en un 5.69%, lo que representa un total de 7,168,178 personas. De estas personas, el 78% (5,577,595) tienen una sola discapacidad, el 10% (723,770) tienen algún problema o condición de salud mental, el 8% (602,295) tienen una discapacidad además de un problema o condición de salud mental, y el 4% (264,518) reportan tener tanto un problema o condición de salud mental como una discapacidad. Al analizar las entidades con menor y mayor prevalencia de discapacidad, se observa que Quintana Roo (4.34%), Nuevo León (4.60%) y Chiapas (4.63%) presentan las prevalencias más bajas, mientras que Oaxaca (7.22%), Guerrero (6.78%) y Tabasco (6.71%) reportan las prevalencias más altas. En cuanto a la distribución por género, las mujeres (5.79%) presentan una prevalencia ligeramente mayor

que los hombres (5.59%). Sin embargo, este patrón varía en algunos estados como Chiapas, Hidalgo, San Luis Potosí y Tabasco [1].

Estos datos demográficos y de prevalencia son fundamentales para comprender la magnitud del impacto de la discapacidad en la sociedad mexicana y brindar un contexto relevante para el diseño y construcción de una silla de ruedas bipedestadora que se adapte a las necesidades de la población objetivo .

III.IV.1 Características socioeconómicas en México

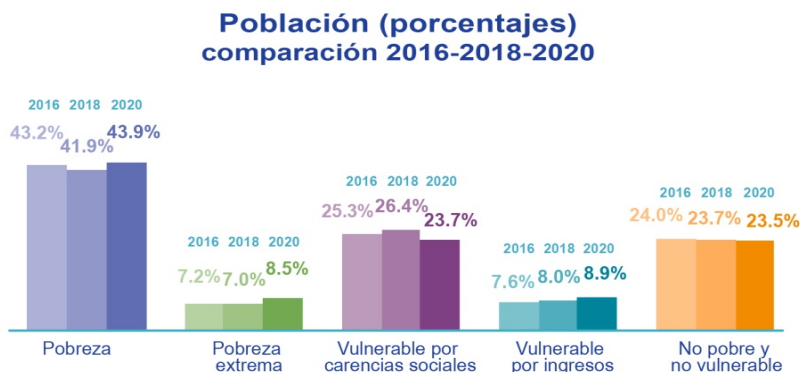
De acuerdo con un estudio oficial realizado por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), se encontró que la pobreza en México experimentó un aumento del 0.7% entre los años 2016 y 2020. Asimismo, se estima que un 8.5% de la población total del país, equivalente a 10.9 millones de personas, vive en condiciones de pobreza extrema como podemos ver en la Figura. 1, es decir, con menos de dos dólares al día. Es preocupante destacar que casi la mitad de la población mexicana vive al día.

El estudio revela que los estados del Sureste y del Pacífico son los que presentan la mayor población en situación de pobreza. Encabezando la lista se encuentra Chiapas, con un 75.5% de su población en esta condición; seguido de Guerrero con 66.4%; Oaxaca con 61.7%; Veracruz con 58.6% y Tabasco con 54.5%. Es importante mencionar que estos estados son en su mayoría habitados por poblaciones indígenas como se observa en la Figura. 2 [6].

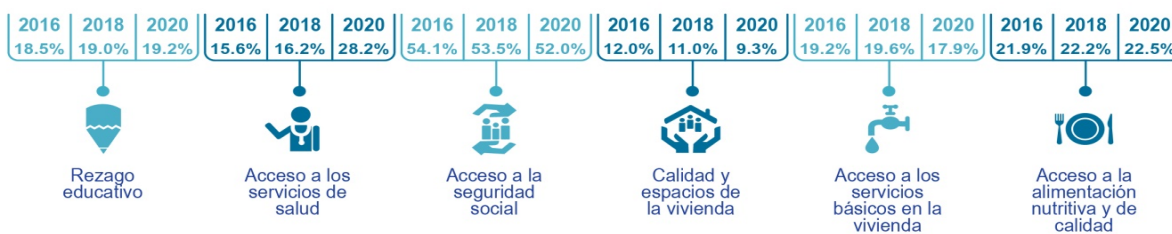
Estos datos sobre la pobreza en México son esenciales para comprender el contexto socioeconómico en el que se llevará a cabo el diseño y construcción de la silla de ruedas bipedestadora. Permiten identificar la necesidad de desarrollar soluciones accesibles y adecuadas para aquellos que se encuentran en situaciones de vulnerabilidad y falta de recursos.



Bienestar económico	\$
	2016
	14.9%
Población con ingreso inferior a la línea de pobreza extrema por ingresos	2018
	14.0%
	2020
	17.2%
Población con ingreso inferior a la línea de pobreza por ingresos	2016
	50.8%
	2018
	49.9%
	2020
	52.8%



Carencias sociales



CONEVAL

Lo que se mide
se puede mejorar



Figura. 1 medición de pobreza en México 2020 nota porcentajes de carencias sociales y bienestar económico en México.

Año
○ 2016
○ 2018
● 2020

Entidad federativa:

Todas

Pobreza

43,9

Porcentaje

Pobreza

55.654,2

Miles de personas

Ir a carencias sociales
y bienestar económico



Restaurar valores

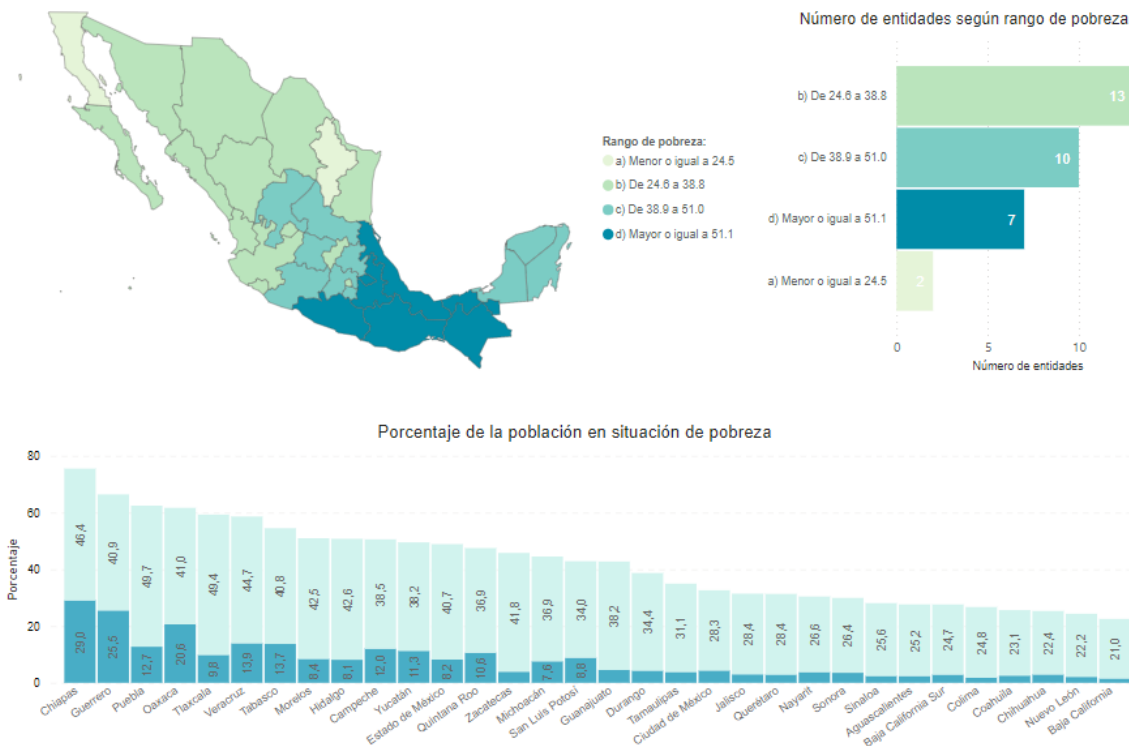


Figura. 2. Medición multidimensional de la pobreza en México 2020 nota porcentaje de la población en situación de pobreza y ubicación geográfica de entidades con mayor rango de pobreza.

III.IV.II Repercusiones de la pobreza y la discapacidad en la familia

La situación de las personas con discapacidad y sus familias se ve afectada por diversas circunstancias que generan una ruptura con la forma de vida tradicional. A las barreras políticas y sociales se suman las barreras físicas y arquitectónicas presentes en la ciudad, así como una estructura social que no está adaptada para satisfacer las necesidades de las personas con discapacidad. Esto conduce a sentimientos de negación, culpa, ira, depresión y abandono. Además, la carga financiera asociada al cuidado de las personas con discapacidad contribuye a una exclusión profunda.

Un estudio realizado por IDRM revela que aproximadamente el 75% de la población con discapacidad en México se encuentra económicamente inactiva, lo cual es una clara señal de abandono [14]. Estos datos indican que el nivel de marginación social de las personas con discapacidad en México es profundo en varios aspectos, como el económico, social y laboral.

Es fundamental comprender y analizar estas condiciones sociales y económicas para desarrollar intervenciones y políticas que promuevan la inclusión de las personas con discapacidad y sus familias en la sociedad. Esto permitirá abordar las barreras existentes y mejorar su calidad de vida, fomentando así una mayor equidad y participación social.

III.V Anatomía humana

La anatomía es fundamental para comprender la estructura y función del cuerpo humano. La información anatómica, que se mantiene constante a lo largo del avance de la ciencia y la tecnología, proporciona un contexto fundamental para los fenómenos vitales. El estudio de la anatomía estructural nos permite familiarizarnos con las principales partes o segmentos del cuerpo humano y comprender los términos utilizados en este campo. La mayoría de los términos anatómicos tienen su origen en el latín y el griego, idiomas nativos de los

anatomistas pioneros que contribuyeron al desarrollo del conocimiento en anatomía [15].

El cuerpo humano se compone de la cabeza, el cuello, el tronco (que incluye el tórax, el abdomen, la espalda y la pelvis/perineo) y los miembros superiores e inferiores. Estas partes principales se pueden dividir en zonas y regiones, y el enfoque en la anatomía regional nos permite estudiar la estructura del organismo al centrar nuestra atención en áreas específicas y examinar la disposición y las relaciones de las diferentes estructuras sistémicas (músculos, nervios, arterias, etc.) que las componen. Este enfoque ordenado también nos permite examinar las regiones adyacentes y comprender la tridimensionalidad del cuerpo humano [16].

Es importante destacar el estudio de la anatomía sistémica, que nos ayuda a comprender cómo los diferentes sistemas de órganos trabajan juntos para realizar funciones complejas. Estos sistemas incluyen:

- El sistema esquelético (osteología): compuesto por huesos y cartílagos, proporciona la forma y el soporte básico del cuerpo y protege órganos vitales.
- El sistema articular (artrología): formado por las articulaciones y los ligamentos asociados, permite el movimiento y la conexión entre las partes óseas.
- El sistema muscular (miología): compuesto por los músculos esqueléticos, lisos y cardíacos, genera movimiento y controla el flujo de fluidos y sustancias en el cuerpo.
- El sistema nervioso (neurología): formado por el sistema nervioso central y periférico, controla y coordina las funciones de los sistemas de órganos y permite las respuestas del cuerpo y las interacciones con el entorno.
- Órganos de los sentidos: como el olfato, la visión, la audición y el gusto, que se estudian en conjunto con el sistema nervioso en la anatomía sistémica [16].

Estudiar la anatomía en sus diferentes enfoques nos proporciona una comprensión integral del cuerpo humano, desde su estructura hasta su función, y nos permite identificar puntos específicos del cuerpo en relación con el movimiento y otras actividades. Esto es esencial para diversas disciplinas, como la medicina, la fisioterapia y la educación física, entre otras.

III.V.I Esqueleto

El esqueleto humano se divide en dos regiones principales: el esqueleto axial y el esqueleto apendicular. En el esqueleto axial se encuentran los huesos que forman la columna central del cuerpo, que incluyen el cráneo, el maxilar inferior, las vértebras, las costillas y el esternón. El cráneo y los huesos de la mandíbula inferior, junto con las vértebras cervicales, forman el área de la cabeza y parte del cuello. Las vértebras dorsales, junto con las costillas y el esternón, forman el área del tórax. El abdomen está compuesto por las vértebras lumbares. Las vértebras sacras y coccígeas se fusionan para formar el sacro y el coxis, respectivamente [15].

Cada extremidad superior del cuerpo humano está compuesta por la clavícula, la escápula, el húmero, el radio, el cúbito, los huesos del carpo, los metacarpianos y las falanges. Por otro lado, cada extremidad inferior incluye el hueso innominado o de la cadera, el fémur, la rótula, la tibia, el peroné, los huesos del tarso, los metatarsianos y las falanges [15].

Como se muestra en la Figura. 3, estudiar la anatomía del esqueleto humano es esencial para comprender la estructura y función del cuerpo, así como para abordar diversas disciplinas como la medicina, la fisioterapia y la biomecánica. El conocimiento de la composición de los huesos y su disposición en las diferentes regiones del cuerpo nos permite comprender la base estructural que sustenta el movimiento y las funciones vitales.

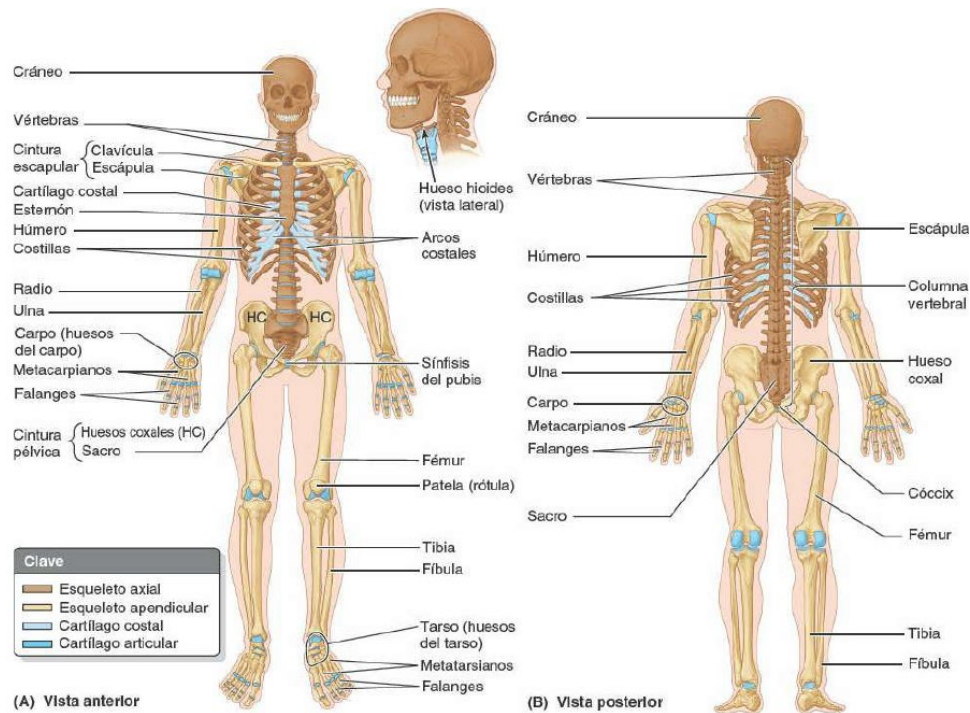


Figura. 3 Sistema esquelético [16].

III.V.II Antropometría

La antropometría es una disciplina que se encarga de estudiar y describir las diferencias cuantitativas en las dimensiones del cuerpo humano como las que podemos observar en la Figura. 4 Utilizando diferentes estructuras anatómicas, la antropometría proporciona medidas precisas que son utilizadas por la ergonomía como herramienta para adaptar el entorno a las medidas del cuerpo humano en distintas posiciones. La antropometría también se puede aplicar dinámicamente, teniendo en cuenta las posiciones resultantes del movimiento, lo cual está estrechamente relacionado con la biomecánica [17].

Es fundamental tener en cuenta que la antropometría nos revela que no existe una persona "promedio" en términos absolutos, ya que aunque algunas de sus medidas puedan corresponder al promedio de la población, es seguro que las demás no lo harán. Por lo tanto, al realizar diseños que involucren medidas antropométricas, es necesario contrastarlos con la realidad. Además, al analizar el público objetivo del diseño, se debe adoptar un criterio amplio si la población de referencia presenta variaciones significativas, o un criterio más específico si el

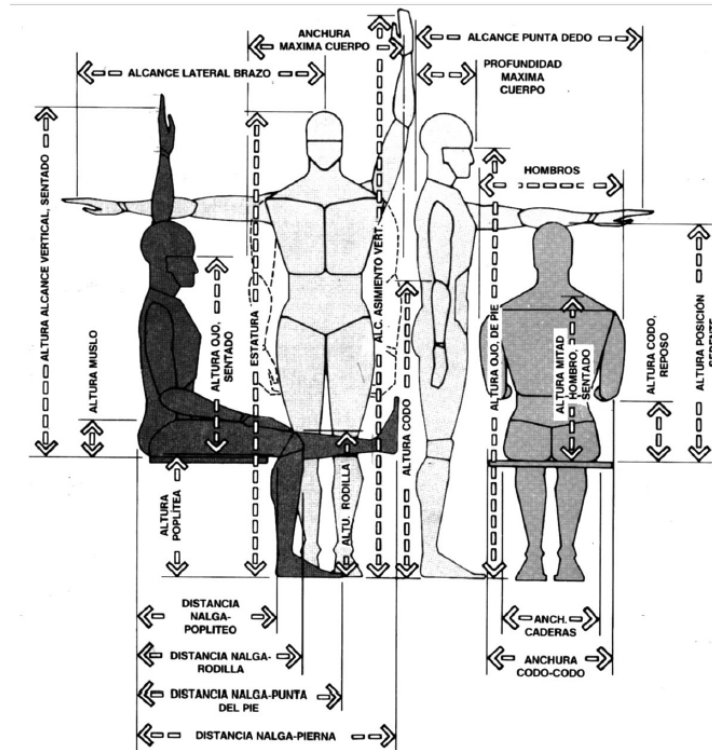


Figura. 4 dimensiones humanas de mayor uso [32].

Las medidas antropométricas que se deben tener en cuenta para la población dependerán de la aplicación funcional que se le quiera dar, especialmente en el diseño. Para ello, es necesario analizar cuidadosamente el tipo de mediciones a realizar y los errores tolerados debido a las peculiaridades de los estudios antropométricos.

A continuación, se presentan algunas medidas básicas que son relevantes en el diseño en posición sentado:

- Altura poplítea (AP)
- Distancia sacro-poplítea (SP)
- Distancia sacro-rótula (SR)
- Altura de muslo desde el asiento (MA)

- Altura del muslo desde el suelo (MS)
- Altura del codo desde el asiento (CA)
- Alcance mínimo del brazo (AmínB)
- Alcance máximo del brazo (AmáxB)
- Altura de los ojos desde el suelo (AOs)
- Anchura de caderas sentado (ACs)
- Anchura de codo a codo (CC)
- Distancia respaldo-pecho (RP)
- Distancia respaldo-abdomen (RA)

Además, en la posición de pie, se deben considerar medidas como la estatura (E), la altura de codos de pie (CSp) y la altura de ojos de pie (AOp), así como el ancho de hombro a hombro (Anhh) [17].

III.V.III Antropometría dinámica

La antropometría dinámica, que corresponde al estudio de las posiciones resultantes del movimiento, desempeña un papel fundamental en el diseño de la silla bipedestadora. Esta disciplina describe los rangos de movimiento, alcance y trayectorias de los segmentos corporales y se encuentra estrechamente ligada a la biomecánica como se muestra en la Figura. 5 Tanto la antropometría como los campos de la biomecánica relacionados con ella se enfocan en medir las características físicas y funciones del cuerpo humano, incluyendo dimensiones lineales, peso, volumen, movimientos, entre otros, con el objetivo de optimizar el sistema hombre-máquina-entorno [19].

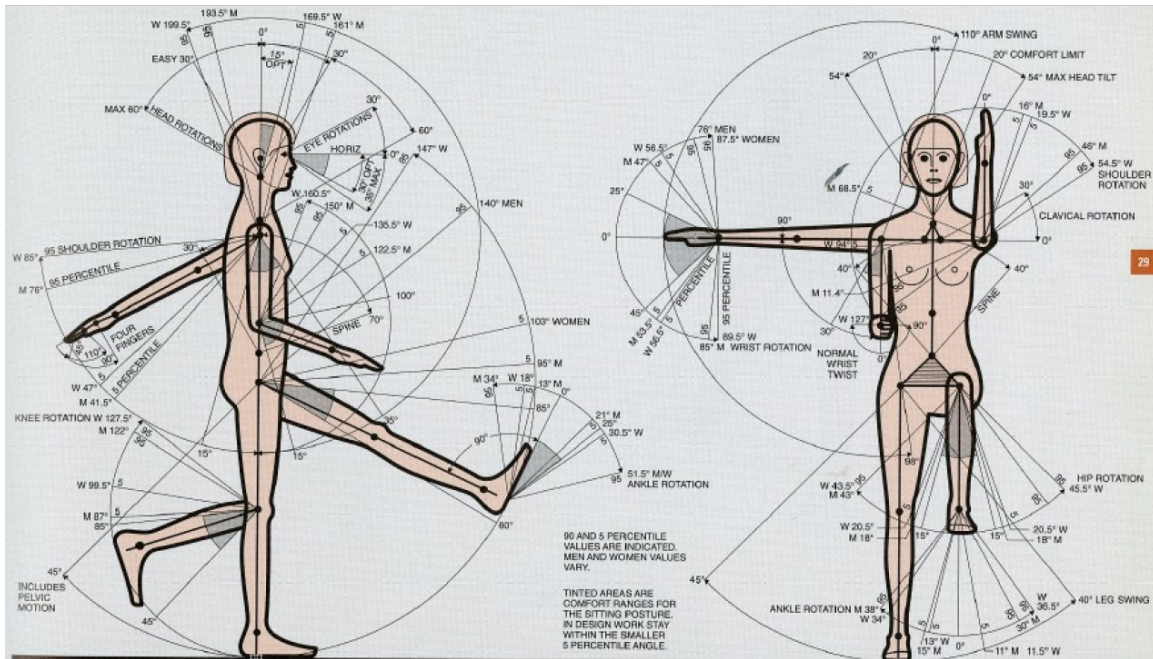


Figura. 5 rangos de confort del cuerpo humano [33].

III.VI Mecanismo, maquina

Para el desarrollo del proyecto, es importante comprender los conceptos de mecanismo y máquina, estos se definen de la siguiente manera:

- Un mecanismo se refiere a una combinación de cuerpos rígidos o resistentes que están formados y conectados entre sí, permitiendo un movimiento relativo específico [20].
- Y una maquina es un conjunto de mecanismos que transmiten fuerza desde la fuente de energía hasta la resistencia que se debe vencer [20].

Estos conceptos son esenciales para comprender el propósito del proyecto lograr combinar y conectan los cuerpos rígidos con el mecanismo de la silla, logrando un movimiento relativo específico que se adapte a las necesidades y requerimientos de los usuarios.

III.VI.IV Movimiento

Al estudiar los mecanismos, es crucial definir los diferentes tipos de movimiento que pueden generar. A continuación, se describen algunos de estos movimientos:

- Movimiento de traslación: ocurre cuando un cuerpo rígido se desplaza de tal manera que todas sus líneas rectas permanecen paralelas en cada posición. Si todos los puntos del cuerpo se mueven en trayectorias paralelas en línea recta, se denomina traslación en línea recta. En cambio, si las trayectorias de los puntos son curvas idénticas y paralelas a un plano fijo, se trata de una traslación curvilínea [20].
- Movimiento de rotación: se presenta cuando cada punto de un cuerpo rígido en movimiento plano se encuentra a una distancia constante de un eje fijo perpendicular al plano de movimiento. Si el cuerpo oscila hacia adelante y hacia atrás en un cierto ángulo, se denomina oscilación [20].

Asimismo, es importante comprender los pares en los mecanismos, que son las formas geométricas utilizadas para conectar dos eslabones de manera que permitan un movimiento relativo consistente. Existen diferentes tipos de pares:

- Par inferior: se refiere a la conexión superficial entre dos elementos, como una conexión mediante tornillo [20].
- Par superior: implica una conexión puntual o a lo largo de una línea, como un rodamiento de bolas o el contacto entre dos dientes de engranaje [20].
- Par retorcido o en espiral: permite únicamente una rotación relativa [20].
- Par de eclosión: facilita solo la apertura o cierre [20].

Estos conceptos son fundamentales para comprender el funcionamiento de los mecanismos y su aplicación en el diseño de la silla.

III.VI.V Eslabón, cadena

Un eslabón se define como un cuerpo rígido que cuenta con dos o más pares o elementos acoplados, los cuales permiten su conexión con otros cuerpos para transmitir fuerza o movimiento. Por lo general, una extremidad se considera un elemento rígido que puede conectarse a otras dos extremidades en cada uno de

sus extremos. No obstante, esta configuración puede expandirse a tres, cuatro o incluso más conexiones [20].

Cuando se conectan múltiples eslabones a través de pares, se forma un sistema conocido como cadena cinemática. Si estos enlaces se conectan de tal manera que no permite ningún movimiento, se denomina cadena cerrada o estructura [20]. Este concepto de eslabones y cadenas cinemáticas serán de utilidad para el desarrollo de los mecanismos en la silla bipedestadora.

III.VI.VI Transmisión de movimiento

En el estudio de los mecanismos, es crucial comprender el método mediante el cual se puede transmitir el movimiento de una extremidad a otra. El movimiento puede ser transmitido de tres formas distintas: (a) a través del contacto directo entre dos elementos, como el contacto entre una leva y su seguidor o entre dos engranajes, (b) mediante el uso de un eslabón o biela, y (c) mediante un eslabón flexible, como un cinturón o cadena [20].

Es importante tener en cuenta los seis pares inferiores posibles, sus grados de libertad y sus símbolos. En un mecanismo plano, los pares de revoluta (R) y prismáticos (P) son los únicos pares inferiores relevantes y utilizados. Por otro lado, los pares de tornillo (H), cilíndrico (C), esférico (S) y los pares inferiores planos (F) son combinaciones de los pares de revoluta y/o prismáticos y se emplean en mecanismos espaciales [21].

Este conocimiento acerca de los diferentes tipos de transmisión de movimiento y los pares inferiores resulta esencial para comprender y ampliar el conocimiento sobre que podemos emplear en el funcionamiento de la silla bipedestadora asequible.

III.VI.VII Movilidad o número de grados de libertad

La movilidad es un concepto fundamental en el estudio de la cinemática de los mecanismos. En términos generales, la movilidad de un mecanismo se refiere al número de grados de libertad que posee. Una definición equivalente de movilidad

es el número mínimo de parámetros independientes necesarios para determinar la posición de cualquier eslabón en un mecanismo.

Para describir la posición de los enlaces, se pueden utilizar diversos parámetros. Sin embargo, solo cuatro de ellos pueden considerarse independientes, como las coordenadas xy del punto P y el ángulo θ . Estos parámetros son suficientes para especificar la posición de los enlaces, aunque existan otros que también podrían utilizarse [20].

Cada unión en un mecanismo, asociada con un grado de libertad, reduce dos grados de libertad del sistema. Del mismo modo, cada unión con dos grados de libertad elimina un grado de libertad del sistema. La movilidad global del sistema se determina mediante la ecuación de Grubler:

Ecuación 1

$$m = 3(n - 1) - 2(j_1) - (j_2)$$

Dónde:

m Representa la movilidad del sistema.

n Es el número de elementos (eslabones, barras, piezas, etc.) del mecanismo.

j_1 Es el número de uniones con 1 grado de libertad.

j_2 Es el número de uniones con 2 grados de libertad.

Es importante tener en cuenta que al aplicar esta ecuación, se debe tener precaución, ya que existen geometrías de mecanismos específicos para los cuales la ecuación puede no ser válida. No existe una regla general para predecir cuándo la ecuación de movilidad puede producir resultados incorrectos (20).

III.VI.VIII Análisis de posición del mecanismo de cuatro barras

Uno de los mecanismos más simples y útiles en ingeniería es el mecanismo de cuatro barras articuladas. En este tipo de mecanismo, generalmente hay un eslabón que oscila mientras otro rota completamente, lo que permite convertir el movimiento de rotación en un movimiento oscilante. Cuando la manivela oscila, el mecanismo amplifica el movimiento de oscilación [20].

Es importante destacar que cuando el eslabón más corto completa su giro, no existe el riesgo de atascamiento. Sin embargo, al oscilar, se debe tener precaución al dimensionar correctamente los eslabones para evitar puntos muertos. Estos puntos muertos ocurren cuando la línea de acción de la fuerza motriz se alinea con uno de los eslabones del mecanismo, lo que puede provocar que el mecanismo se detenga en sus posiciones extremas.

III.VI.IX Clasificación del eslabonamiento de cuatro barras

Barker desarrolló un esquema de clasificación que permite predecir el tipo de movimiento que se puede esperar en un mecanismo de eslabonamiento de cuatro barras, basándose en las relaciones de longitud entre sus eslabones que se muestran en la Tabla 1. Es importante destacar que las características de movimiento angular de este mecanismo son independientes de los valores absolutos de las longitudes de los eslabones. Esto permite normalizar las longitudes dividiendo tres de ellas entre la cuarta, creando así tres relaciones adimensionales que definen la geometría del mecanismo [21].

Considerando las longitudes de los eslabones designadas como r_1 , r_2 , r_3 y r_4 (todas positivas y no nulas), donde el subíndice 1 indica la bancada, 2 el eslabón impulsor, 3 el acoplador y 4 el eslabón restante (de salida). Las relaciones de eslabón se forman dividiendo cada longitud de eslabón entre r_2 , y se obtienen las relaciones

Ecuación 2

$$l_1 = \frac{r_1}{r_2} \quad l_3 = \frac{r_3}{r_2} \quad l_4 = \frac{r_4}{r_2} .$$

Cada eslabón se designa con una letra basada en su tipo de movimiento cuando se conecta con los demás eslabones. Si un eslabón puede realizar una revolución completa con respecto a los demás, se denomina manivela (C); de lo contrario, se le llama balancín (R). El movimiento del mecanismo de eslabonamiento ensamblado, basado en la condición de Grashof e inversión, se puede representar mediante un código de letras, como GCRR para una combinación de manivela y

balancín de Grashof, o GCCC para un mecanismo de doble manivela Grashof (eslabón de arrastre) [21].

Para que los cuatro eslabones se ensamblen, el más largo debe ser más corto que la suma de los otros tres, es decir, $L < (S + P + Q)$. Si $L = (S + P + Q)$, entonces los eslabones pueden ensamblarse, pero no se moverán. Por lo tanto, esta condición proporciona un criterio para distinguir las regiones de no movilidad de las regiones que permiten el movimiento dentro del espacio de solución. La aplicación de este criterio, en función de las tres relaciones de eslabón, define cuatro planos de movilidad cero que delimitan el espacio de solución [21].

Tabla 1 nota SC= caso especial

CLASIFICACION DE BARKER DE MECANISMOS PLANOS DE CUATRO BARRAS					
Tipo	s+l vs p+q	Inversion	Clase	Designacion de Barker	Tambien conocido como
1	<	L1=S=bancada	L-1	Manivela-manivela-manivela de Grashof	Doble manivela
2	<	L2=S=entrada	L-2	Manivela-balancin-balancin de Grashof	Manivela balancin
3	<	L3=S=acoplador	L-3	Balancin-manivela-balancin de Grashof	Doble balancin
4	<	L4=S=salida	L-4	Balancin-balancin-manivela de Grashof	Balancin-manivela
5	>	L1=L=bancada	LL-1	Balancin-balancin-balancin clase 1	Triple balancin
6	>	L2=L=entrada	LL-2	Balancin-balancin-balancin clase 2	Triple balancin
7	>	L3=L=acoplador	LL-3	Balancin-balancin-balancin clase 3	Triple balancin
8	>	L4=L=salida	LL-4	Balancin-balancin-balancin clase 4	Triple balancin
9	=	L1=S=bancada	LLL-1	Manivela-manivela-manivela con punto de cambio	Doble manivela SC
10	=	L2=S=entrada	LLL-2	Manivela-balancin-balancin con punto de cambio	Manivela balancin SC
11	=	L3=S=acoplador	LLL-3	Balancin-manivela-balancin con punto de cambio	Doble balancin SC
12	=	L4=S=salida	LLL-4	Balancin-balancin-manivela con punto de cambio	Balancin-manivela SC
13	=	Dos pares iguales	LLL-5	Punto de cambio doble	Paralelogramo
14	=	L1=L2=L3=L4	LLL-6	Punto de cambio triple	Cuadrado

III.VII Herramientas de apoyo a la movilidad para personas con discapacidad motriz

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el uso de herramientas y tecnologías es fundamental para permitir a las personas llevar una vida digna, saludable, productivo e independiente, lo que incluye la posibilidad de estudiar, trabajar y participar plenamente en la sociedad [22]. Estas herramientas también tienen el potencial de reducir la necesidad de atención médica a largo plazo, servicios de apoyo y tratamientos, aliviando así la carga sobre los cuidadores familiares. Sin embargo, cuando estas herramientas no están disponibles, las personas pueden encontrarse marginadas, enfrentando el aislamiento social y, en ocasiones, representando una carga para sus familiares o cuidadores. Esta

situación puede generar sentimientos de frustración por la limitación en la capacidad de realizar ciertas actividades, lo que a su vez afecta negativamente la autoestima y el bienestar de la persona.

En este contexto, existen diversos aparatos y dispositivos de apoyo que, cuando son prescritos y utilizados adecuadamente, pueden facilitar el desarrollo de una amplia gama de actividades diarias. Estos dispositivos están especialmente diseñados y fabricados para "compensar" ciertas deficiencias y mejorar la movilidad y autonomía de las personas.

Las ayudas técnicas o dispositivos de movilidad personal comprenden una variedad de opciones, entre las cuales se pueden mencionar:

III.VII.1 Sillas de ruedas manuales

Las sillas de ruedas manuales son un tipo de ayuda a la movilidad especialmente diseñada para personas con discapacidad motora que tienen dificultad o no pueden caminar. Estas sillas están equipadas con ruedas en la parte trasera y, en muchos casos, ruedas más pequeñas en la parte delantera para facilitar giros y maniobras.

Presentan varios aspectos importantes a considerar. En primer lugar, pueden ser impulsadas por la fuerza física del usuario o por un cuidador que empuja la silla. Además, muchas sillas de ruedas manuales son plegables y desmontables, lo que facilita su transporte y almacenamiento [23]. Es importante destacar que existen diferentes tipos de silla de ruedas manuales, como las estándar, deportiva y todoterreno, cada una diseñada para satisfacer las necesidades específicas de los usuarios. La comodidad y la ergonomía del usuario son aspectos críticos en el diseño de las sillas de ruedas manuales. Elementos como la altura del respaldo, la anchura y profundidad del asiento, y la posición de los reposabrazos y reposapiés influyen en la experiencia del usuario y en su capacidad para moverse de manera cómoda y segura.

III.VII.II Sillas de ruedas eléctricas

Son dispositivos de asistencia motorizados diseñados para personas con discapacidad motora o física. Estas sillas están equipadas con motores eléctricos y baterías recargables que les permiten moverse sin necesidad de propulsión manual. Proporcionan a las personas con discapacidad física una mayor independencia y libertad de movimiento en comparación con las sillas de ruedas manuales. Estas pueden ser controladas por el usuario mediante un joystick o incluso un mando a distancia, lo que facilita su manejo [24].

Existen diferentes modelos de sillas de ruedas eléctricas, desde modelos básicos hasta modelos más avanzados que incluyen características adicionales como asientos reclinables, elevador de piernas y ajuste de altura. La velocidad máxima de una silla de ruedas eléctrica puede variar entre modelos, generalmente oscilando entre 6 y 10 km/h. La duración de la batería también varía según el modelo y el uso de la silla eléctrica, siendo habitualmente de 15 a 40 millas antes de necesitar una carga.

Es importante tener en cuenta que, aunque las sillas de ruedas eléctricas brindan mayor independencia y libertad de movimiento, también pueden presentar limitaciones al ser utilizadas en espacios reducidos o en terrenos irregulares.

III.VII.III Los ascensores de transferencia

Son dispositivos diseñados para ayudar a las personas con discapacidad o movilidad limitada a moverse de un lugar a otro, como de una silla a una cama o de un inodoro a una ducha. Estos elevadores pueden ser de tipo manual o eléctrico y se utilizan tanto en entornos domésticos como en centros de atención médica. Entre las características importantes de los elevadores de transferencia se encuentran las siguientes:

- Capacidad de peso: Los elevadores de transferencia suelen tener una capacidad de peso máxima establecida, la cual varía según el modelo y el fabricante. Es fundamental asegurarse de que el elevador pueda soportar el

peso del usuario y cualquier equipo adicional utilizado, como una silla de ruedas.

- Seguridad: Los elevadores de transferencia deben estar equipados con medidas de seguridad para prevenir lesiones tanto al usuario como al cuidador. Esto puede incluir cinturones de seguridad, frenos, asideros y dispositivos de bloqueo para evitar resbalones o caídas.
- Comodidad: Algunos elevadores de transferencia pueden contar con cojines y otros accesorios que mejoran la comodidad del usuario durante las transferencias.
- Portabilidad: Existen modelos de elevadores de transferencia más portátiles que otros, lo cual puede ser importante para personas que viajan o necesitan utilizarlos en diferentes lugares [25].

III.VII.IV Silla Bipedestadora Get Up (Serie T Alta)

Es un dispositivo de asistencia que permite a las personas con discapacidad o movilidad reducida ponerse de pie y mantener una posición vertical. Está equipada con un mecanismo que permite elevar al usuario desde una posición sedente a una posición bípeda, ofrece un soporte adecuado para la columna vertebral, las piernas y los pies. El sistema de control de la silla es intuitivo y fácil de usar. Puede ser operado por el propio usuario o por un cuidador, según sea necesario como se muestra en la Figura. 6 [26].



Figura. 6 Silla Bipedestadora Get Up Opencluster [26].

III.VII.V Silla bipedestadora Leckey

La silla bipedestadora Leckey es un dispositivo de apoyo que ayuda a los niños con discapacidades físicas a ponerse de pie y realizar actividades en una posición erguida como se observa en la Figura. 7. Las características y beneficios de la silla incluyen: La silla se puede ajustar a las necesidades individuales, incluida la altura y la posición de los pies y las piernas. Proporciona una base fuerte y estable para el cuerpo [27].



Figura. 7 silla bipedestadora leckey beme. Leckey [27].

III.VII.VI Silla bipedestadora EasyStand

Este dispositivo de asistencia, que permite a las personas con discapacidad ponerse de pie y realizar tareas en posición vertical, tiene varias características que se aprecian en la Figura. 8 de las cuales destacan: Es fácil de usar y se adapta a la mayoría de las personas con discapacidad. Se puede utilizar para realizar una variedad de actividades que incluyen terapia, rehabilitación, deportes y tareas diarias. Ofrece una variedad de opciones de personalización que incluyen ajustes de altura, ángulo y posición de los pies [28].



Figura. 8 Silla bipedestadora easyStand Evolv XT EasyStand [28].

III.VII.VII Silla bipedestadora Permobil F5 Corpus VS

Es un dispositivo habilitador de movilidad que permite al usuario ponerse de pie para mejorar su salud, habilidades de comunicación e interacciones sociales. Cuenta con tecnología avanzada de inclinación y elevación que permite al usuario ascender y descender con suavidad y control que se muestran en la Figura. 9, con la capacidad de inclinarse hacia adelante y hacia atrás para que el usuario se sienta más cómodo, reducir la carga de trabajo y reducir el riesgo de lesiones durante las transferencias [34].



Figura. 9 silla bipedestadora permobil F5 corpus VS.

III.VII.VIII Silla bipedestadora Otto bock

Algunas de las características generales de estas sillas son:

- Diseño personalizable: la mayoría de los modelos tienen configuraciones personalizables para satisfacer las necesidades específicas del usuario, tales como: Altura del asiento, ángulo del respaldo y posición de brazos y piernas.
- Uso manual tanto para el usuario como para el cuidador o acompañante.
- Proporciona al usuario comodidad durante todo el tiempo que está en la silla, debido a que está hecha con materiales de alta calidad y duraderos, lo que garantiza una larga vida útil. En la Figura. 10 apreciamos la estructura robusta que nos garantiza durabilidad [29].



Figura. 10 Silla bipedestadora Otto Bock Xeno [29].

IV Metodología

IV.I Tipo de investigación

Para el desarrollo del proyecto se empleó un enfoque de investigación experimental para diseñar, construir y probar prototipos en un ambiente controlado para evaluar su funcionamiento y efectividad. Este tipo de investigación implica la manipulación de una o más variables para evaluar el efecto en una variable dependiente, en este caso el funcionamiento de la silla bipedestadora.

Con este enfoque de investigación, se definieron los objetivos del proyecto, los cuales incluirán la identificación de los requisitos del usuario y sus familiares, las especificaciones técnicas de las sillas existentes en el mercado, los criterios de desempeño que deben ser cumplidos para considerar el éxito del proyecto satisfaciendo las necesidades de los usuarios.

A partir de ahí, se desarrolló una hipótesis con el objetivo de construir prototipos de la silla bipedestadora a escala. Los prototipos podrán ser evaluados por usuarios y otros expertos para obtener retroalimentación y mejorar el diseño. Una vez que se haya encontrado un prototipo que cumpla con los criterios de desempeño, se realizarán pruebas adicionales para validar que la silla bipedestadora es segura, confiable y replicable a escala.

El enfoque de investigación experimental para el desarrollo del mecanismo de una silla bipedestadora a escala implica la construcción de prototipos y el ajuste del diseño basado en retroalimentación obtenida durante la evaluación. Esto permitirá desarrollar un prototipo a escala que cumpla con los requisitos previamente mencionados.

Identificación del problema: Examinando las problemáticas presentes en México respecto a dos factores fundamentales que son la discapacidad y la economía,

nos percatamos del factor crucial en este caso, el problema a resolver es proporcionar una solución ergonómica, eficiente y asequible para que las personas con discapacidades puedan pasar de una posición de sedente a una posición bípeda, y viceversa añadiendo la posición de decúbito.

Este proyecto partió del estudio integral al segmento de la población de bajos recursos económicos que padecen una situación de discapacidad motriz, se encontró que el 5.7% de la población censada tiene alguna discapacidad y el 41% tiene una discapacidad relacionada con la movilidad [1]. En el estado de Puebla 15.5% de la población presenta alguna forma de discapacidad y 29.93% tiene una discapacidad motriz [30].

Por el lado de la investigación académica, se han realizado muchos avances con diversos diseños bípedos o sistemas similares para todo tipo de usuarios de sillas de ruedas y con diferente activación, tanto mecánica como eléctrica pero la desventaja de estos sistemas es el alto costo de mantenimiento o reparaciones que este implica. No se encontró un diseño el cual sea fácil de modificar con un mecanismo sencillo y fácil de reparar.

IV.II Población o universo de estudio

Con base en las necesidades socioeconómicas, hay dificultades que prevalecen en la sociedad mexicana tal es el caso de la discapacidad motriz, puesto que una de las necesidades específicas es que las personas puedan adquirir un instrumento asequible que se adapte a sus necesidades, que les permita mejorar la movilidad, postura, socialización y calidad de vida de las personas con discapacidad física, lo que contribuye a una mayor inclusión y accesibilidad, esto es de suma importancia ya que la conexión entre la discapacidad congénita y la naturaleza humana en la etapa de la vida se explica por el hecho de que la discapacidad tiende a aumentar positivamente con la edad. Las discapacidades más comunes resultan de accidentes relacionados con las actividades diarias, el trabajo, el tránsito o agresiones. Sin embargo, a medida que envejecemos,

especialmente en la edad adulta, las discapacidades de todo tipo se vuelven más comunes [31].

La diferencia de género también influye en mayor incidencia de discapacidad, entre las mujeres la esperanza de vida suele ser mayor.

Para la identificación de las necesidades se tomaron los documentos emitidos por el Censo de Población y Vivienda 2020 del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI), en el Estado de Puebla con el cual se identificó que existen 686,290 individuos con discapacidades que tienen un impacto menor en su actividad diaria. Se observa que hay un mayor número de personas que padecen dos o más tipos de discapacidades al mismo tiempo. La discapacidad visual es la más común, mientras que en segundo lugar tenemos la discapacidad motriz, afectando la vida diaria de 223,324 personas. Estas discapacidades pueden adquirirse por diversas causas, como enfermedad, accidente, edad avanzada o incluso de nacimiento (30).

La causa más frecuente de discapacidad es la enfermedad con un 33,71% de los casos, seguida de la edad avanzada con un 24,71%.

Algunas comunidades tienen una alta prevalencia de discapacidades en su forma más severa, definida por el INEGI como “gran dificultad para realizar las actividades cotidianas”, que van desde 42.7% a 64.3%. Estas comunidades son Tepemaxalco, San Miguel Ixitlán, Axutla, Cohetzala, Hermenegildo Galeana, Ahuehuetitla, Xicotlán, Piaxtla, Guadalupe y Tepexco. Es importante señalar que estas comunidades tienen una población envejecida.

En cuanto a las discapacidades más comunes en su forma más grave, la relacionada con el movimiento de caminar, subir o bajar es la más frecuente, afectando a un mayor número de personas, especialmente mujeres, con un 25% más de casos que los hombres.

Las discapacidades de dificultad moderada, se presentan en una mayor cantidad de personas. La relacionada con el movimiento de caminar, subir o bajar es la

segunda más común en esta categoría, y afecta a un mayor porcentaje de mujeres en un 35,1% más de casos que en hombres.

En el Estado de Puebla, 64.5% de los casos de discapacidad son moderados o leves, el 28.2% son severos.

Para poder empezar el desarrollo del mecanismo de una silla bipedestadora a escala, es importante entender las necesidades funcionales de la población de Puebla. Para ello, se utilizó un enfoque de investigación de campo previamente elaborado por el INEGI analizando la recopilación de datos he identificado los usuarios potenciales.

Este enfoque implicó la identificación de una muestra representativa de la población objetivo, la recopilación de datos mediante la administración de cuestionarios y la observación directa recabada por el INEGI identificando patrones y necesidades comunes en el uso de sillas de ruedas y bipedestadoras.

Identificadas estas necesidades funcionales, se convirtieron en requisitos técnicos específicos para el diseño y la construcción del mecanismo de la silla bipedestadora a escala. Por ejemplo, se identificaron los requisitos para la altura ajustable del asiento, la facilidad de uso del mecanismo de bipedestación, y la estabilidad de la silla en la posición vertical.

Además, los resultados obtenidos del análisis de las necesidades funcionales serán utilizados para desarrollar criterios de desempeño y pruebas de validación que aseguren que el mecanismo de la silla bipedestadora a escala cumpla con los requisitos identificados y las necesidades de los usuarios de Puebla.

Cabe mencionar que es fundamental identificar los requisitos técnicos que debe cumplir el mecanismo. Para hacerlo, se deben tomar en cuenta las necesidades de los usuarios, tanto en términos de funcionalidad como de seguridad.

Algunos de los requisitos técnicos que se deben considerar para el desarrollo del mecanismo de la silla bipedestadora son:

- Altura ajustable del asiento: El mecanismo debe permitir el ajuste de la altura del asiento para adaptarse a las necesidades y preferencias del usuario.
- Sistema de seguridad: El mecanismo de la silla bipedestadora debe contar con un sistema de seguridad que evite movimientos no deseados durante la bipedestación, como caídas o inestabilidad.
- Diseño ergonómico: El mecanismo debe estar diseñado para evitar posiciones incómodas o forzadas para el usuario durante la bipedestación y el uso de la silla.
- Resistencia y durabilidad: La silla bipedestadora debe ser resistente y duradera para soportar el peso del usuario y el desgaste diario del uso.
- Facilidad de uso: El mecanismo debe ser fácil de usar para el usuario, con controles intuitivos y accesibles.
- Portabilidad: La silla bipedestadora debe ser fácilmente transportable para poder llevarla a diferentes lugares según las necesidades del usuario.
- Adaptabilidad: El mecanismo debe poder adaptarse a diferentes tamaños, pesos y necesidades de los usuarios.
- Fiabilidad y seguridad de los componentes: Todos los componentes de la silla bipedestadora deben ser seguros, de alta calidad y cumplir con las normas y regulaciones necesarias.

La identificación de los requisitos técnicos para el desarrollo del mecanismo de una silla bipedestadora a escala es un paso crítico en el proceso de diseño y construcción. Este proceso se puede llevar a cabo mediante la consulta con expertos en el tema y la retroalimentación de usuarios potenciales.

La evaluación de las limitaciones y restricciones es parte importante del proceso de diseño y desarrollo del mecanismo de bipedestación. Para realizar esta evaluación se emplearon diferentes herramientas, como por ejemplo la aplicación de pruebas específicas y análisis de los requerimientos técnicos.

Algunas de las limitaciones y restricciones que se pueden considerar durante la evaluación para el desarrollo del mecanismo de bipedestación de una silla bipedestadora son:

- Limitaciones físicas: Se deben evaluar las limitaciones físicas de los usuarios que puedan afectar la capacidad de la silla para proporcionar bipedestación, como por ejemplo la presión arterial, disminución de la fuerza muscular, etc.
- Capacidad postural: La capacidad postural se refiere a la habilidad del usuario para adoptar posiciones y mantenerlas durante la bipedestación. Se deben evaluar las limitaciones del usuario para mantener una postura al estar parado, y cómo pueden ser abordadas por el mecanismo de bipedestación de la silla.
- Limitaciones de movilidad: La limitación de la movilidad puede ser un factor limitante en la habilidad del usuario para utilizar la silla bipedestadora. Esto puede ser evaluado mediante la observación de la movilidad del usuario y la creación de un entorno de prueba simulado para evaluar la habilidad del usuario para moverse dentro y fuera de la silla bipedestadora.
- Limitaciones en la vestimenta: Se debe considerar las limitaciones en la vestimenta del usuario que puedan afectar su habilidad de usar la silla bipedestadora.
- Restricciones en el entorno: Las restricciones en el entorno pueden afectar la capacidad del usuario para utilizar la silla bipedestadora. Esto puede ser evaluado mediante la observación del entorno físico y la creación de un entorno de prueba simulado.

V Desarrollo

La bipedestación, es decir, la capacidad de ponerse de pie y mantenerse en esa posición, es una habilidad importante para la independencia y calidad de vida de las personas con discapacidades físicas que utilizan sillas de ruedas. Permitir que una silla de ruedas se transforme en una herramienta que pueda llevar a su usuario a una posición bípeda, puede tener efectos significativos en la salud, el bienestar y la autoestima de una persona.

Para llevar a cabo este proyecto, se requeriría la creación de un mecanismo de elevación y soporte que funcione de manera segura y eficiente, sin comprometer la estabilidad y la comodidad del usuario en la silla de ruedas. Para lograr esto, se deben identificar las necesidades de los usuarios finales, incluyendo sus objetivos y requisitos en cuanto a la mecánica del mecanismo.

En este capítulo se realizarán las actividades necesarias para desarrollar y detallar un diseño conceptual. Para llevar a cabo este diseño se deben considerar las cuestiones planteadas anteriormente, así como examinar los estudios sobre la mecánica y fisiología de la bipedestación, la revisión de las patentes existentes y las soluciones técnicas ya realizadas, pueden ser valiosas en el desarrollo de un mecanismo adecuado.

Con base en las necesidades socioeconómicas las dificultades que prevalecen en la sociedad mexicana en el caso de discapacidad motriz, una de las necesidades específicas es que las personas puedan adquirir un instrumento asequible que se adapte a sus necesidades, que les permita mejorar la movilidad, postura, socialización y calidad de vida de las personas con discapacidad física, lo que contribuye a una mayor inclusión y accesibilidad esto es de suma importancia reiterando la naturaleza humana en que la discapacidad tiende a aumentar positivamente con la edad.

Durante el proceso de identificación de las necesidades para el desarrollo de la silla bipedestadora a escala, se ha realizado un análisis exhaustivo de los documentos emitidos por el Censo de Población y Vivienda. Los resultados obtenidos revelan un preocupante aumento en el número de personas que sufren

de múltiples tipos de discapacidad simultáneamente. Asimismo, se ha identificado que la dificultad para adquirir instrumentos de apoyo en la movilidad relacionada con no poder caminar, subir o bajar es una de las formas más comunes de discapacidad en las comunidades estudiadas.

Un dato relevante obtenido del análisis de los documentos es que en el Estado de Puebla, se reporta que el 64.5% de los casos de discapacidad son moderados o leves, mientras que el 28.2% se consideran severos. Estos datos nos alertan sobre la necesidad de abordar de manera efectiva las limitaciones en la movilidad de las personas y buscar soluciones que puedan mejorar su calidad de vida [30].

En el proceso de desarrollo del mecanismo de la silla bipedestadora a escala, es fundamental comprender las necesidades funcionales específicas de la población en Puebla. Para lograr esto, se han empleado un enfoque de investigación de campo diseñado previamente por el INEGI, a través del cual hemos recopilado datos e identificado a los potenciales usuarios.

Este enfoque ha involucrado la selección de una muestra representativa de la población objetivo, la aplicación de cuestionarios y la observación directa recopilada por el INEGI. Gracias a esta metodología, se ha identificado patrones y necesidades comunes en el uso de sillas de ruedas bipedestadoras.

Identificadas estas necesidades funcionales, se convirtieron en requisitos técnicos específicos para el diseño y construcción del mecanismo de la silla bipedestadora a escala. Por ejemplo, se han establecido requisitos relacionados con la altura ajustable del asiento, la facilidad de uso del mecanismo de bipedestación y la estabilidad de la silla en posición vertical.

Los resultados obtenidos del análisis de las necesidades funcionales serán utilizados para desarrollar criterios de desempeño y llevar a cabo pruebas de validación. Estas pruebas se realizarán con el objetivo de asegurar que el mecanismo de la silla bipedestadora a escala cumpla con los requisitos identificados y las necesidades de los usuarios en Puebla.

V./ Identificación y evaluación de los requerimientos técnicos

La identificación de los requisitos técnicos para el desarrollo del mecanismo de una silla bipedestadora a escala es un paso crítico en el proceso de diseño y construcción, también debemos evaluar las limitaciones y restricciones ya que son una parte importante del proceso de diseño y desarrollo del mecanismo de bipedestación. Tomando en cuenta diferentes herramientas para realizar esta evaluación como por ejemplo, la aplicación de pruebas o el análisis de los requerimientos técnicos y la comparación de las herramientas existentes en el mercado.

Respecto al desarrollo de un mecanismo de silla bipedestadora a escala, la identificación precisa de los requisitos técnicos resulta fundamental para garantizar un diseño y construcción exitosos. Además de establecer estos requisitos, es esencial evaluar cuidadosamente las limitaciones y restricciones inherentes al proceso de diseño y desarrollo del mecanismo de bipedestación.

Mediante la utilización de estas herramientas y enfoques, es posible abordar de manera efectiva las limitaciones y restricciones identificadas, asegurando así que el mecanismo de la silla bipedestadora a escala se ajuste a los criterios establecidos y cumpla con los estándares necesarios. El enfoque garantiza que cualquier desafío identificado sea resuelto de manera óptima, maximizando el rendimiento y la eficiencia del mecanismo en su conjunto.

La evaluación rigurosa de las limitaciones y restricciones no solo contribuye a un diseño sólido, sino que también proporciona una base sólida para el desarrollo exitoso del mecanismo de la silla bipedestadora a escala, ofreciendo una solución eficaz y funcional que satisface las necesidades de los usuarios. Con la finalidad de comprender de manera clara las ventajas y desventajas con las que cuentan las sillas bipedestadoras existentes en el mercado se desarrolló la Tabla 2 la cual permite realizar una comparativa profunda.

Tabla 2 MATRIZ COMPARATIVA DE SILLAS BIPEDESTADORAS

Características	Get Up	Leckey	EasyStand	Permobil F5 Corpus VS	Ottobock
Facilidad de uso	Facil de usar no requiere entrenamiento especial.	Requier de entender el ajuste y habilidad para ajustar las piezas.	Facil de usar.	Requiere de conocimientos hamplios para poder ajustar las piezas.	Requiere de entrenamiento para poder ajustar las piezas.
Comodidad	Comoda con ajustes basicos.	Muy comoda debido a los ajustes que se pueden realizar.	Comoda debido a los sopórtes acolchonados.	Comoda debido a los ajustes que se pueden realizar y soportes acolchonados.	Comoda debido a los ajustes que se pueden realizar.
Movilidad	Limita la movilidad debido a su diseño.	Limita la movilidad debido a su diseño.	Limita la movilidad debido a su diseño.	Permite un mayor grado de movilidad y libertad de movimiento.	Limita la movilidad debido a su diseño.
Funcionalidad	Ofrece ajustes limitados para adaptarse a las necesidades de cada usuario.	Ofrece ajustes para adaptarse a las necesidades de cada usuario.	Ofrece gran cantidad de ajustes para adaptarse a las necesidades de cada usuario.	Ofrece gran cantidad de ajustes para adaptarse a las necesidades de cada usuario.	Ofrece gran cantidad de ajustes para adaptarse a las necesidades de cada usuario.
Portabilidad	ligero la dificultad de transportar es media.	Es bastante grande y pesada, lo que la hace menos portátil.	Es bastante grande y pesada, lo que la hace menos portátil.	Es bastante grande y pesada, lo que la hace menos portátil.	Es bastante grande y pesada, lo que la hace menos portátil.
Costo	Es la opción más económica que permite la bipedestacion Costo: alrededor de 2000 USD.	Es la opción más acceseible de sillas bipedestadoras Costo: alrededor de 2,500 USD.	Es una opción costosa intermedia pero icluye parametros de ajustes Costo: alrededor de 3,500 USD.	Es la opción más costosa de sillas bipedestadoras contando con muchos avances tenologicos Costo: alrededor de 30,000 USD.	Es una opción más costosa pero icluye mayores parametros de ajustes Costo: alrededor de 4,500 USD.
Ventajas	Proporciona apoyo postural adecuado	Soporte completo para el usuario. Diseño personalizado para el usuario	Fácil acceso para el usuario. Ayuda a mejorar la postura. Puede ajustarse fácilmente para cumplir con las necesidades médicas del usuario	Uso personalizado y tecnología avanzada. Excelente soporte para el usuario	Silla robusta y duradera. Excelente soporte para el usuario
Desventajas	Requiere ajustes personalizados.	Mayor costo.	Requiere de ayuda externa para ajustarse.	Requiere de mantenimiento constante.	Requiere de espacio adicional para su uso.

Un punto importante que se consideró para el desarrollo del mecanismo de la silla bipedestadora, es el análisis de las diferentes opciones disponibles en el mercado para evaluar su relación costo-beneficio. Estas sillas bipedestadoras ofrecen beneficios significativos para la salud y el bienestar de las personas con discapacidades. Sin embargo, existen variaciones considerables en cuanto a costo y desarrollo tecnológico.

En el análisis de las sillas bipedestadoras, se ha observado que la silla bipedestadora Permobil F5 Corpus VS es la opción más costosa. Si bien es una opción avanzada en términos de tecnología y características, su alto costo puede limitar su accesibilidad para las personas ya que su mercado se enfoca en la clase social alta.

En contraste, la silla Get Up (Serie T Alta) se presenta como una opción más accesible y económica en comparación con otras sillas evaluadas. Aunque su accesibilidad no está al alcance de personas de escasos recursos, ofrece beneficios significativos al permitir una bipedestación más natural para las personas con discapacidad.

Se consideraron otras alternativas que ofrecen distintas características, como la silla bipedestadora Leckey que en sus modelos más costosos proponen ideas innovadoras y la Otto bock, que también brindan características adicionales que incrementar su valor al adaptarse a las necesidades específicas de los usuarios.

Por otro lado, la silla bipedestadora EasyStand se destaca por sus beneficios adicionales para la salud cardiovascular, digestiva y respiratoria, aunque su costo es más elevado en comparación con las dos opciones anteriores.

Se concluye que la elección de una silla bipedestadora adecuada dependerá de las necesidades y recursos de cada persona. Si bien todas las sillas evaluadas ofrecen beneficios importantes para mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad.

Durante el desarrollo de esta investigación, se ha logrado ampliar el panorama de las necesidades existentes en México en cuanto a sillas bipedestadoras, así como la búsqueda de soluciones por parte del ingenio mexicano la cual podemos observar en la Figura. 11. Sin embargo, se ha observado que hasta el momento

no se ha logrado establecer un sistema seguro y eficiente que satisfaga completamente dichas necesidades.

Es fundamental destacar la importancia de abordar este desafío desde una perspectiva integral, considerando los aspectos mecánicos en el diseño del mecanismo de la silla bipedestadora. La seguridad es un factor primordial que debe ser abordado con rigurosidad, garantizando el bienestar y la protección de los usuarios.

Para superar esta limitación, se requiere de un enfoque interdisciplinario que involucre la colaboración de profesionales de la ingeniería mecánica y eléctrica, así como especialistas en ergonomía y medicina. Esto permitirá desarrollar un sistema seguro y confiable que cumpla con los estándares necesarios para brindar una experiencia de bipedestación segura y cómoda a las personas con discapacidad.

Es importante resaltar que el desarrollo de este mecanismo a escala implica superar desafíos técnicos y funcionales, como el diseño ergonómico, la selección de materiales adecuados y la implementación de sistemas precisos.

Aunque el ingenio mexicano ha buscado dar solución a las problemáticas existentes en relación a las sillas bipedestadoras, se ha identificado la necesidad de establecer un sistema seguro y eficiente. Mediante un enfoque interdisciplinario y una rigurosa atención a los aspectos mecánicos, por lo que es posible desarrollar un mecanismo de silla bipedestadora a escala que cumpla con los estándares de seguridad y satisfaga las necesidades de las personas con discapacidad en México.

Considerando lo anterior se comprendió que para el desarrollo de nuestro prototipo de silla bipedestadora a escala, es fundamental considerar los sistemas que se incorporan en las sillas existentes y evaluar cuáles son indispensables para nuestro diseño. Esto nos permitirá identificar los elementos clave que deben estar presentes en nuestro prototipo para garantizar su funcionalidad y cumplir con los requisitos de los usuarios.



Figura. 11 Silla bipedestadora de mdf [35].

Tabla 3 MATRIZ ANALISIS DE MECANISMOS

Características	Get Up	Leckey	EasyStand	Permobil F5 Corpus VS	Ottobock
Tipo de mecanismo	Basculación en el plano sagital para permitir la bipedestación	Basculación en el plano sagital para permitir la bipedestación	Elevación hidráulica y mecánica para permitir la bipedestación	Elevación hidráulica y mecánica para permitir la bipedestación	Basculación en el plano sagital para permitir la bipedestación
Sistema de bloqueo	Bolqueo manual en la posición bipeda	Bloqueo manual en múltiples posiciones	Bloqueo manual en múltiples posiciones	Bloqueo eléctrico en múltiples posiciones	Bloqueo manual en múltiples posiciones
Ajuste de altura	Ajuste de altura manual con rango de 30 cm	Ajuste de altura manual mediante un pedal	Ajuste de altura manual mediante un pedal	Ajuste de altura eléctrico mediante un joystick	Ajuste de altura manual mediante un pedal
Ajuste de ángulo	No ajustable en ángulo	Ajuste de ángulo manual mediante una palanca	Ajuste de ángulo manual mediante una palanca	Ajuste de ángulo eléctrico mediante un joystick	Ajuste de ángulo manual mediante una palanca
Soporte para piernas	Soporte para piernas	Soporte ajustable para piernas	Soporte ajustable para piernas	Soporte ajustable para piernas	Soporte ajustable para piernas
Soporte para tronco	Soporte para tronco	Soporte ajustable para tronco	Sin soporte para tronco	Soporte ajustable para tronco	Soporte ajustable para tronco
Soporte para cabeza	Sin soporte para cabeza	Soporte ajustable para cabeza	Sin soporte para cabeza	Soporte ajustable para cabeza	Soporte ajustable para cabeza

En general, todas las sillas utilizan sistemas de soporte para las piernas y caderas que permiten al usuario ponerse de pie. Estos sistemas se ajustan mediante correas y abrazaderas para asegurar la posición del usuario durante el proceso de bipedestación. La distinción principal entre las diferentes sillas radica en la presencia de un sistema de elevación hidráulica o electrónica, el cual posibilita el cambio de la posición sedente a la posición bípeda.

Cada una de estas sillas bipedestadoras presenta características y beneficios únicos. Entre ellos se destacan la capacidad de realizar ajustes personalizados

para adaptarse a las necesidades individuales de cada usuario, la facilidad de uso en términos de activación y control del mecanismo de elevación, la movilidad proporcionada por ruedas u otros sistemas de desplazamiento, y la durabilidad del mecanismo en condiciones de uso prolongado.

El ajuste personalizado de las sillas bipedestadoras asegurar la comodidad y seguridad del usuario, permitiendo adaptar la posición de la espalda, asiento y soportes a las necesidades requeridas de cada persona. Asimismo, la facilidad de uso del mecanismo de elevación es esencial para que el usuario pueda realizar la transición de manera suave y controlada.

El desarrollo de una silla bipedestadora es un proceso complejo que requiere la atención y el análisis de varias etapas. La primera etapa consiste en el diseño y desarrollo de la estructura de la silla. Mediante un análisis de posición gráfico, podemos comprender de manera visual y sencilla el comportamiento y el movimiento necesarios para realizar la transición de la posición sedente a la posición bípeda.

V.// Estudio grafico del movimiento de transición sedente a bípeda

El análisis del movimiento durante este proceso de transición implica la aplicación de diversos enfoques, como el análisis cinemático y el análisis cinético. El análisis cinemático se centra en el estudio del movimiento del cuerpo, mientras que el análisis cinético se enfoca en las fuerzas que intervienen en el movimiento, como la gravedad y la resistencia del suelo. La combinación de estos enfoques nos permite comprender en detalle los movimientos y ajustes que ocurren en el cuerpo durante la transición de la posición sedente a la posición bípeda.

Con el fin de profundizar el conocimiento de este proceso, se solicitó la colaboración de un compañero para llevar a cabo simulaciones que permitan observar el comportamiento y los ángulos que el cuerpo naturalmente adquiere durante la bipedestación Figura. 12. Estas simulaciones brindarán información valiosa para el diseño del mecanismo de silla bipedestadora a escala y ayudará a optimizar su funcionalidad y comodidad.

Con este análisis y las simulaciones realizadas, se busca obtener una comprensión completa de los movimientos y ajustes requeridos para lograr una transición segura y eficiente de la posición sedente a la posición bípeda en la silla bipedestadora a escala. Esto permitirá desarrollar un mecanismo que cumpla con los requisitos de movimiento, estabilidad y comodidad necesarios para mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad.

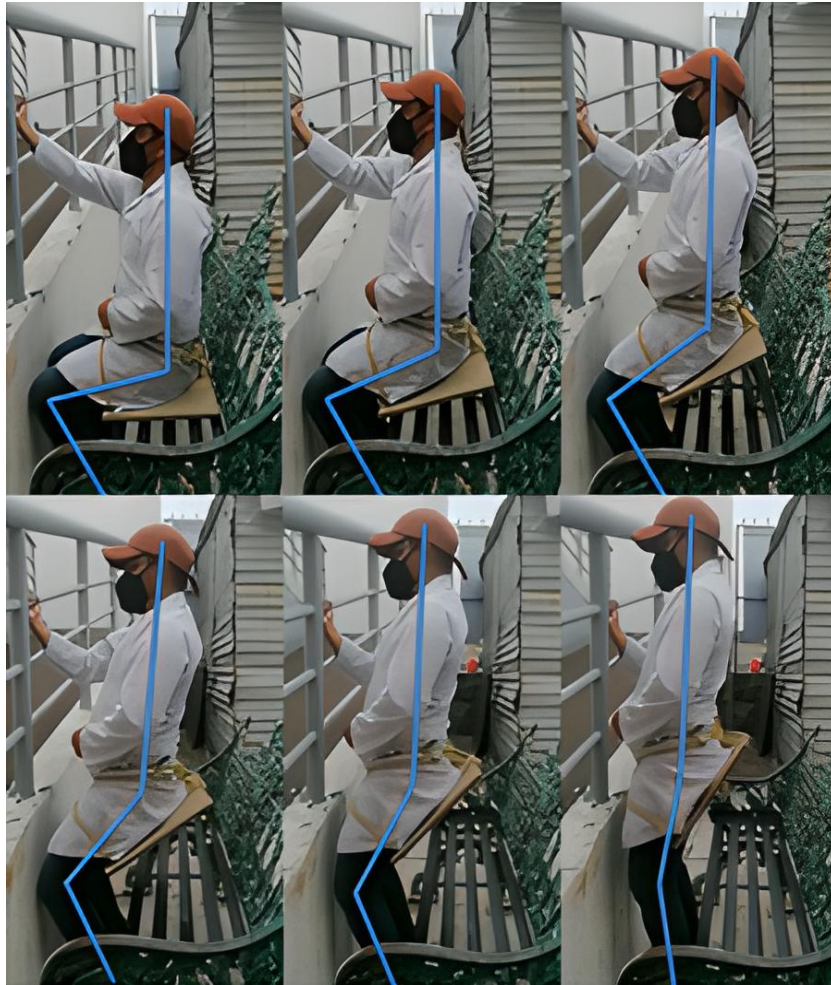


Figura. 12 Posturas adquiridas al pasar de la sedestación a la bipedestación.

Se observaron detenidamente las imágenes, identificando el desplazamiento de las articulaciones del tobillo, la rodilla y la cadera que desempeñan un papel fundamental en la trayectoria de transición de la sedestación a la bipedestación. Esta trayectoria se compone de movimientos angulares en cada articulación, los cuales implican una serie de ajustes y movimientos por parte del cuerpo humano.

Al adquirir la posición bípeda desde una posición sedente se observó que los músculos extensores de las piernas, especialmente los cuádriceps, se contraen para levantar el cuerpo. Los músculos flexores de las caderas también se activan para ayudar a estabilizar y controlar el movimiento ascendente. Además, los músculos estabilizadores del tronco y las piernas, como los abdominales y los glúteos, trabajan en conjunto para mantener el equilibrio y proporcionar estabilidad durante el proceso de adquirir una posición bípeda. A medida que se levanta, el centro de gravedad del cuerpo se desplaza hacia arriba y hacia adelante, y los músculos del tronco y las piernas trabajan para mantener el equilibrio y la postura adecuada. Pero al pasar de la posición bípeda a la sedente se comienza flexionando las rodillas y las caderas para bajar el cuerpo hasta que los glúteos entren en contacto con la silla. Durante este proceso, los músculos extensores de las piernas, como los cuádriceps, se relajan, mientras que los músculos flexores de las caderas, así como los isquiotibiales, se contraen para controlar el movimiento descendente. Los músculos estabilizadores del tronco y las piernas, como los abdominales y los glúteos, ayudan a mantener el equilibrio y el control durante este proceso.

Estos hallazgos han brindado una comprensión más profunda de los movimientos y ajustes que ocurren en el cuerpo durante la transición de la sedestación a la bipedestación. Es esencial para el desarrollo del proyecto tener presente esta información ya que permite considerar los aspectos biomecánicos involucrados para así aplicarlos en el diseño del mecanismo de soporte y ajustes necesarios para lograr una transición segura.

V./// Desarrollo de modelo CAD

Se desarrolló un modelo de trayectoria la cual debe imitar la estructura de la silla bipedestadora. Para lograr esto, se creó un modelo en CAD (Diseño Asistido por Computadora) que ha permitido analizar los movimientos y ángulos generados durante la transición de la sedestación a la bipedestación asegurando un funcionamiento adecuado al momento de diseñar la estructura de asistencia.

Con el diseño asistido por computadora, se consideró la creación de un modelo de tres eslabones con dos grados de libertad. En la Figura. 13 se observa que el primer eslabón representa la cabeza, el cuello y el tronco, mientras que el segundo eslabón representa los muslos. El tercer eslabón actúa como un apoyo que ayuda a sostener el peso y proporciona la articulación necesaria. Este modelo permite verificar si se ajusta a la trayectoria deseada durante la transición de la sedestación a la bipedestación. El modelado brinda una representación visual y funcional del mecanismo de la silla bipedestadora a escala, lo que permite evaluar su comportamiento y realizar los ajustes necesarios para garantizar un diseño eficiente y seguro.

El modelado brinda una valiosa representación visual y funcional del mecanismo de la silla bipedestadora a escala ya que se puede simular y analizar diferentes escenarios y situaciones de uso para comprender cómo interactúa el mecanismo de la silla con el usuario y su entorno. Esto brinda la oportunidad de identificar posibles problemas y realizar mejoras antes de la etapa de construcción. Así como realizar pruebas virtuales y experimentar con diferentes configuraciones y parámetros sin incurrir en costos adicionales. Se puede evaluar el rendimiento de la silla en términos de estabilidad y resistencia estructural, lo que ayuda a optimizar el diseño y garantizar la seguridad del usuario.

Con el modelo 3D de la estructura del soporte de la silla bipedestadora, hay varias consideraciones que tomamos para validar el modelo y posteriormente construirlo.

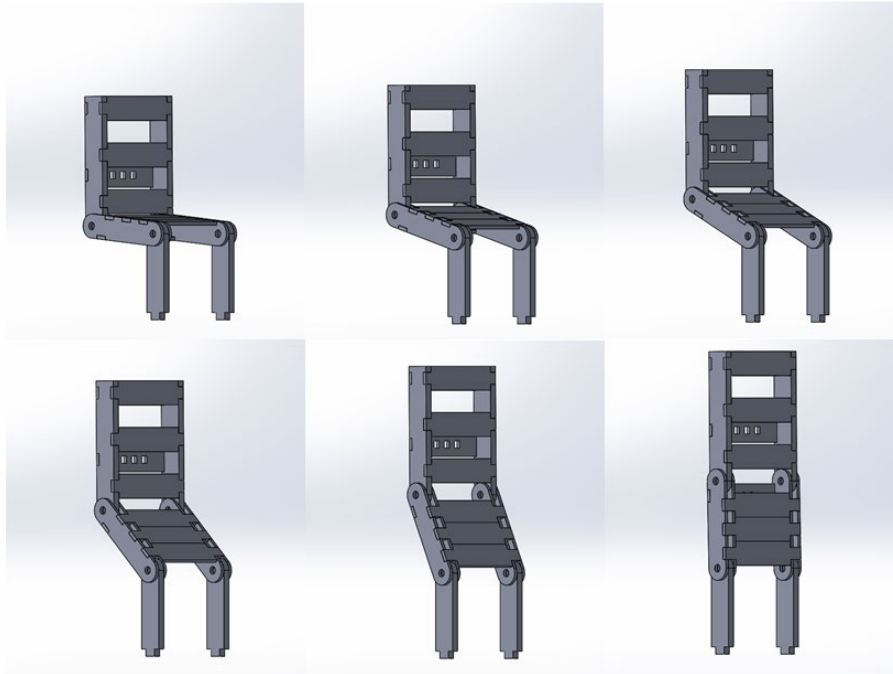


Figura. 13 Posturas realizadas por el modelo CAD al pasar de la sedestación a la bipedestación.

En primer lugar, se realizaron simulaciones de movimiento para evaluar el comportamiento de la estructura de acuerdo con la trayectoria que se genera al momento de pasar de la sedestación a la bipedestación. Las simulaciones nos ayudaron a identificar los problemas de diseño y realizar ajustes antes de llevar el modelo a la producción.

Como segundo punto se consideró seleccionar un método de manufactura adecuado para la producción del modelo. Algunos de los factores que se consideraron importantes fueron el tamaño del prototipo, el nivel de detalle que se requiere, el lapso de tiempo necesario para su manufactura, el presupuesto disponible, las propiedades mecánicas y físicas necesarias del prototipo. Contando con dos opciones viables y disponible que son la impresión 3D y el corte láser. Ambos métodos tienen ventajas y desventajas que se evaluaron antes de tomar una decisión.

IMPRESIÓN 3D

✓ Ventajas:

Es un proceso rápido, económico y tiene la capacidad de producir piezas con una alta precisión y alto nivel de detalle.

X Desventaja:

Se sacrifica la resistencia y durabilidad del material pues esta es limitada, lo que significa que es necesario imprimir las piezas con el 100% de densidad lo que requiere mayor consumo de energía, material y tiempo para obtener una mayor resistencia mecánica.

CORTE LASER

Proceso extremadamente preciso y puede producir detalles finos con una gran calidad de acabado. Además la resistencia depende del material empleado el cual puede ser acrílico o madera y estos materiales son resistentes y duraderos adecuados para aplicaciones que requieren propiedades mecánicas y físicas robustas.

Enfocado en realizar un análisis de las propiedades de los materiales disponibles para la fabricación de la estructura. Era necesario asegurarse de que el material seleccionado fuese lo suficientemente rígido, resistente y modificable, para tener eficiencia en el modelo. Seleccionando como mejor opción el corte laser en acrílico.

V.IV Conceptualización del mecanismo motriz

Para el desarrollo del mecanismo que moverá la estructura de la silla se identificó las necesidades que se planean resolver. Con ayuda de las pruebas realizadas en el modelo CAD se identificaron los procesos que el mecanismo debe realizar. También se investigaron las soluciones existentes; es importante tener presentes las diferentes alternativas desarrolladas respecto a la problemática. Con la Tabla 3 se detectó que la mayoría de las soluciones propuesta funciona con pistones hidráulicos o electrónicos lo cual eleva el costo y aumenta el mantenimiento.

Definimos los requerimientos fundamentales con los que debe contar el mecanismo en base a las necesidades identificadas y soluciones existentes el

objetivo principal de este tipo de silla está diseñada para permitir que una persona mantenga una posición bípeda y que esta sea accesible económicamente. El mecanismo que permite este movimiento consta de varias partes y elementos como lo es el sistema de levantamiento que es la parte fundamental de la silla, pues es responsable de elevar al usuario a una posición vertical. El sistema de bloqueo se utiliza para mantener el mecanismo en su lugar una vez que el usuario ha llegado a la posición vertical deseada. El sistema de soporte es responsable de mantener al usuario seguro. Y el sistema de ajuste permite modificar la altura de la silla y la posición del usuario, según sus necesidades individuales.

Estos sistemas trabajan juntos para permitir que el usuario se ponga de pie y se mantenga en la posición vertical estable.

Basados en estos puntos creamos un concepto inicial del mecanismo. El concepto que se utilizó como punto de partida para el diseño del mecanismo fue el mecanismo de remolque basculante que comúnmente es utilizado en vehículos utilitarios para facilitar la carga y descarga de materiales pesados que se muestra en la Figura. 14. Este mecanismo consta de varios componentes mecánicos que trabajan juntos para permitir que la caja de carga se levante e incline hacia atrás para facilitar la descarga. Algo muy importante de este mecanismo es que la función es realizada por un cabrestante que es una parte integral del mecanismo del remolque basculante. Este dispositivo enrolla y desenrolla un cable conectado a la caja de carga por una serie de poleas y cadenas. Cuando se opera el cabrestante, la cuerda se enrolla y la caja de carga comienza a elevarse.



Figura. 14 Ejemplo de mecanismo basculante realizado con eslabones [36].

El mecanismo de volcado del remolque también incluye un sistema de bisagras que permite que la plataforma se incline hacia atrás. Las bisagras se encuentran en la parte inferior de la caja y están conectadas a un eje central que sube y baja bajo la acción del cabrestante también incluye un sistema de bloqueo que mantiene la caja de carga en su lugar después de levantarla o inclinarla hacia atrás. El pestillo se activa mediante un pasador insertado en una serie de orificios ubicados en el eje central.

Es importante recalcar que este mecanismo es versátil y eficaz utilizado en la industria que garantiza un funcionamiento seguro y confiable durante su uso.

Para el primer boceto del mecanismo de la silla se ideó implementar un mecanismo de cuatro barras que funcione con el principio del remolque basculante permitiendo que el usuario pueda cambiar de posición de manera segura y fácil al accionar el malacate permitiendo que las barras se muevan y la silla comience a levantarse, ya que el objetivo principal del mecanismo es levantar al usuario. Y mantener la estabilidad y equilibrio de la silla en posición vertical.

Conceptualizando de manera correcta los requisitos del mecanismo puntualizando la función a realizar, el rango de movimiento requerido y la fuerza a implementar, se enfocó en la selección correcta de las barras que se ajusten a los requisitos del mecanismo y esto depende de la complejidad del mismo, también se consideró el espesor y el material adecuado para realizar estudios de resistencia y rigidez que se aproximen a la realidad, enfocado en la selección de los puntos de unión que modifican los movimientos relativos entre barras, se trazó la trayectoria deseada para la barra acoplada a diferentes entradas del mecanismo.

Con el modelo CAD (Figura. 14) se obtuvo la representación virtual del mecanismo que se planea implementar, pero antes de mandar a realizar el prototipo de manera física se aseguró que el diseño cuente con los elementos necesarios que permitan su funcionamiento en el mundo real.

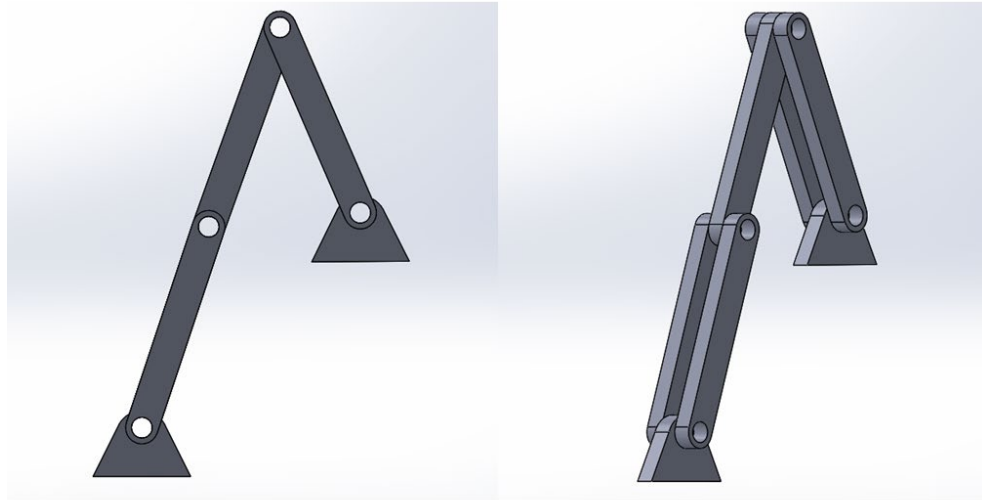


Figura. 15 Vistas lateral e isométrica del mecanismo ideado para levantar el segundo eslabón (zona de los muslos).

Tomando en cuenta si el material empleado será adecuado para soportar las cargas a las cual se planea someter el modelo y cuáles son los puntos de concentración de tensiones que serán propensas a la fractura, por lo cual el mecanismo se sometió a una simulación por tensión, esta permite predecir cómo se comporta el diseño bajo diferentes cargas y condiciones de operación, lo que ayuda a identificar y corregir posibles fallas en el diseño antes de iniciar la manufactura de las piezas. Teniendo como resultado los datos mostrados en la Figura. 16.

V.V Analisis de esfuerzos del mecanismo motriz

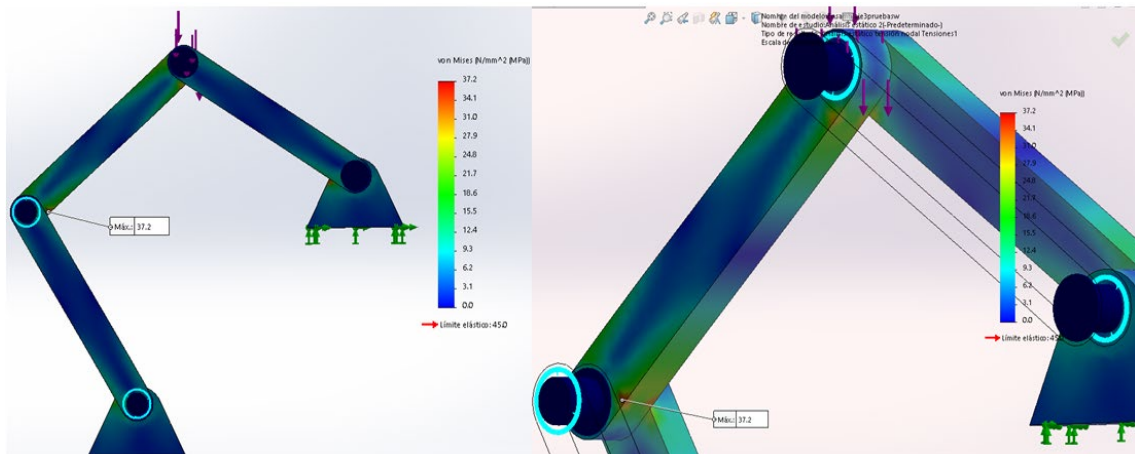


Figura. 16 vista lateral y corte transversal de la simulación por tensión del mecanismo.

En la simulación de desplazamiento (Figura. 17) se observan las zonas críticas de estrés identificadas con colores brillantes, el color rojo resalta el área de mayor estrés o deformación. También se muestra una idea de cómo se moverá el modelo bajo una carga de 35kg. Estos resultados son útiles para determinar como el modelo puede fallar con la carga y detectar problemas de interferencias o colisiones entre los componentes.

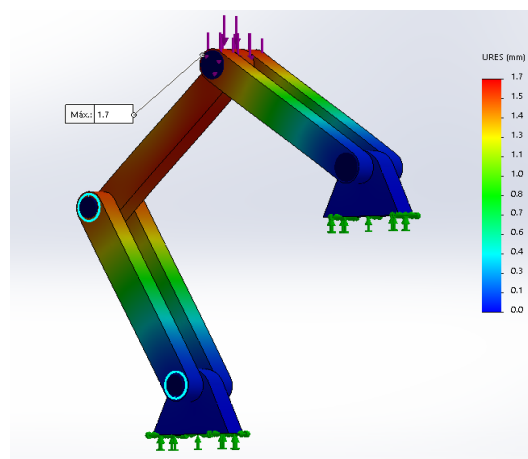


Figura. 17 Vista isométrica del estudio de desplazamiento del mecanismo.

En la simulación de deformación unitaria (Figura. 18) se visualiza cómo se distribuyen las deformaciones en la pieza observando el punto crítico de estrés y así identificar la zona alta y baja de deformación

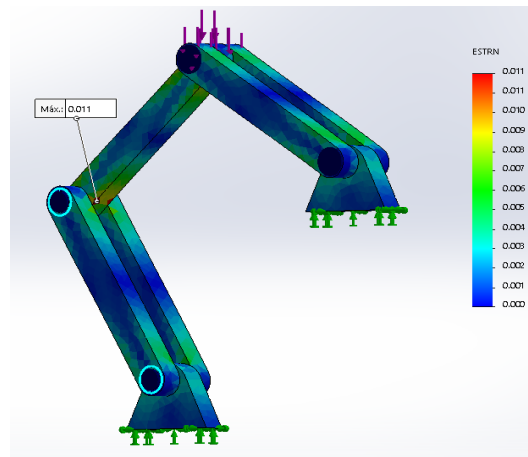


Figura. 18 Vista isométrica del estudio de deformaciones unitarias del mecanismo.

V.VI Análisis de movimiento

Otro estudio importante para validar el correcto funcionamiento es el análisis de posiciones del mecanismo ya que es una herramienta fundamental en el diseño, que permite determinar la posición del mecanismo en un instante determinado para comprender cómo las diferentes partes del mecanismo se mueven y se relacionan entre sí, lo que es esencial para validar el óptimo funcionamiento.

Para el correcto análisis del mecanismo se tomaron en cuenta las dimensiones y características así como las restricciones y condiciones de comportamiento deseado del mismo, definiendo los puntos de unión entre las barras, las dimensiones de las mismas, la posición inicial y las restricciones de movimiento con la finalidad de identificar los puntos de mayor tensión y estrés en las diferentes partes del sistema, identificando posibles problemas o limitaciones en el diseño lo cual permite hacer ajustes para mejorar el desempeño evitando la reelaboración o reparaciones posteriores a la construcción.

Se realizó la simulación del comportamiento mecánico simplificando el mecanismo para que el estudio de este resultara más sencillo permitiendo visualizar las diferentes posiciones del ciclo de operación del mecanismo, procurando eliminar las interferencias entre las diferentes partes del mecanismo (Figura. 19).

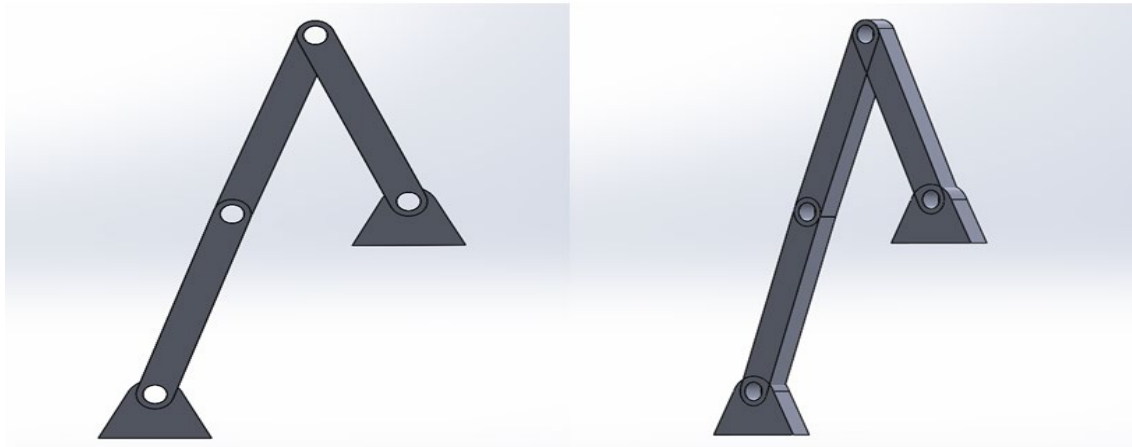


Figura. 19 Vistas lateral e isométrica del mecanismo simplificado para el estudio de posición.

Para determinar la configuración óptima del mecanismo y asegurarse de que sea capaz de llevar a cabo la tarea deseada de manera eficiente es posible variar la longitud de los eslabones con la finalidad de modificar el movimiento del mecanismo de cuatro barras para aplicarlo a la tarea final.

El análisis de posición permite determinar el tamaño adecuado de los eslabones y observar el comportamiento del acoplador en diferentes posiciones, lo que ayuda a evitar problemas potenciales durante la operación del mecanismo. Es importante destacar que el método algebraico es uno de los enfoques más comunes utilizados en el análisis de posición de mecanismos de cuatro barras, ya que permite determinar las posiciones de las juntas cinemáticas a y b utilizando el ángulo de entrada, el ángulo de salida y las coordenadas de una de las juntas cinemáticas.

Con la finalidad de simplificar el análisis se modificó el ángulo 44.66° del mecanismo que se puede observar en la Figura. 20 también se observa la

asignación de los valores conocidos así como las variables existentes para poder realizar el análisis de posición por el método algebraico.

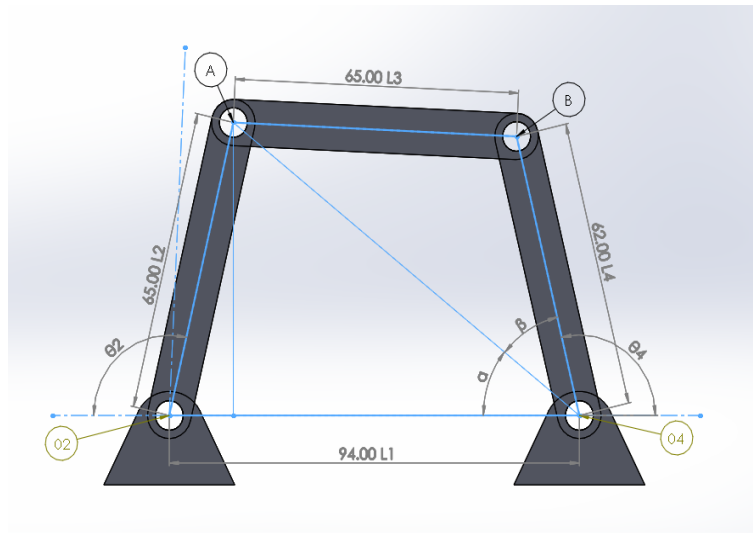


Figura. 20 Vista lateral del mecanismo de cuatro barras ajustado a 44.66° mostrando las variables conocidas.

Definiendo las coordenadas de la junta cinemática B que estará en función de los eslabones l_1 , l_2 , l_3 , l_4 y del ángulo θ_2 el cual es el ángulo que desconocemos, para la junta cinemática A estará en función de los eslabones l_1 , l_2 , l_3 , l_4 y el ángulo θ_2 será en ángulo de entrada, en el cual se posicionara el elemento que se encargara de dirigir el mecanismo.

Quedando de la siguiente manera:

$$B\{l_1, l_2, l_3, l_4, \theta_2\}$$

$$A\{l_1, l_2, l_3, l_4, \theta_2\}$$

Para encontrar las coordenadas de la cadena cinemática del punto A se consideró que el origen se encuentra en O_2 , y a partir del punto A se trazó una línea perpendicular la cual permite desarrollar la siguiente ecuación:

$$\cos\theta_2 = A_x/l_2$$

$$Ax = l_2 \cos \theta_2$$

$$Ay = l_2 \sin \theta_2$$

Para determinar las coordenadas de la junta cinemática B se proponen ecuaciones en función de las constantes para trazar una línea auxiliar del punto θ_4 hacia el punto A la cual se designó con h y así permitir relacionar el ángulo de entrada con el de salida ya que A esta en función del ángulo de entrada y así partir en dos el ángulo θ_4 designados como β y α estableciendo la siguiente relación

$$\theta_4 = \beta + \alpha$$

Con la líneas marcadas se forma un triángulo rectángulo y tiene como ángulo la letra α , con la siguiente información se puede calcular el valor de h con el cual se puede calcular en función de las variables que se conocen. Realizando la siguiente ecuación

$$h = \frac{[(Ay)^2 + (l_1 + Ax)^2]^{1/2}}{2}$$

Con ese mismo triangulo se puede encontrar el ángulo α teniendo como resultado la siguiente expresión:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{Ay}{l_1 + Ax}\right)$$

Para conocer el ángulo β se utiliza la ley de cosenos obteniendo la siguiente expresión

$$l_3^2 = l_4^2 + h^2 - 2 l_4 h \cos \beta$$

Despejando β

$$\beta = \cos^{-1}\left[\frac{l_3^2 - l_4^2 - h^2}{-2 l_4 h}\right]$$

Con las ecuaciones anteriores se logra conocer todas las variables y así se puede calcular las coordenadas de la junta cinemática B

$$Bx = l_4 \cos \theta_4$$

$$By = l4 \text{ sen } \theta 4$$

Con las formulas obtenidas es posible conocer las coordenadas de los pares cinemáticos en A, B y también conocer el ángulo de entrada y el ángulo de salida, con este modelo matemático de posiciones para el mecanismo de 4 barras se puede tener un análisis y identificar el comportamiento del mecanismo en cada uno de los grados, se trasladó el modelo matemático a el programa GNU octave el cual ayudara a realizar los cálculos numéricos en cada ángulo.

Teniendo como resultado el siguiente comando:

```

1  # MECANISMO DE CUATRO BARRAS
2
3  #DEFINICION DE LAS DIMENSIONES DE LOS ESLABONES
4  l1 = 94;
5  l2 = 65;
6  l3 = 65;
7  l4 = 62;
8  #theta_in = 0:1:359;
9  for theta_in = 1:360;
10
11  theta = deg2rad(theta_in);
12
13  Bx = l4 * cos(theta);
14  By = l4 * sin(theta);
15
16  h = sqrt((By).^2 + (l1 + Bx).^2);
17
18  alpha = atan(By ./ (l1 + Bx));
19
20  beta = acos(((l3).^2 - (l2).^2 - (h.^2)) ./ (-2 * l2 * h));
21
22  theta_out = alpha + beta;
23
24  Ay = l2 * sin(theta_out);
25  Ax = l2 * cos(theta_out);
26
27  theta_s = rad2deg(theta_out);
28
29  if iscomplex(theta_s)
30      printf("singularidad")
31  endif
32  printf("theta_in = %d, theta_s = %d, Bx = %d, Ax = %d \n", theta_in,
33  theta_s, Bx, Ax);
34  endfor

```

Para corroborar que los cálculos son correctos se tomó un dato de entrada y lo compararemos con el método grafico realizado en el CAD (Figura. 21).

$\theta_{in} = 90$, $\theta_s = 61.1851$, $B_x = 29.8829$, $A_x = 3.97997e-15$

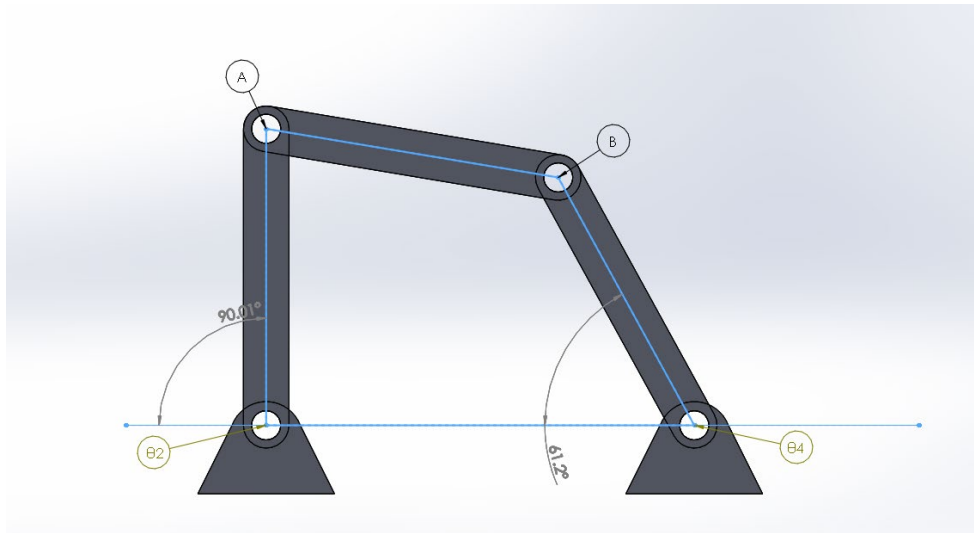


Figura. 21 Mecanismo puesto a 90° para corroborar el método analítico.

En la Figura. 22 se observa que el método analítico coincide con el método grafico
 $\theta_{in} = 203$, $\theta_s = 37.6424$, $B_x = 49.0939$, $A_x = -59.8328$

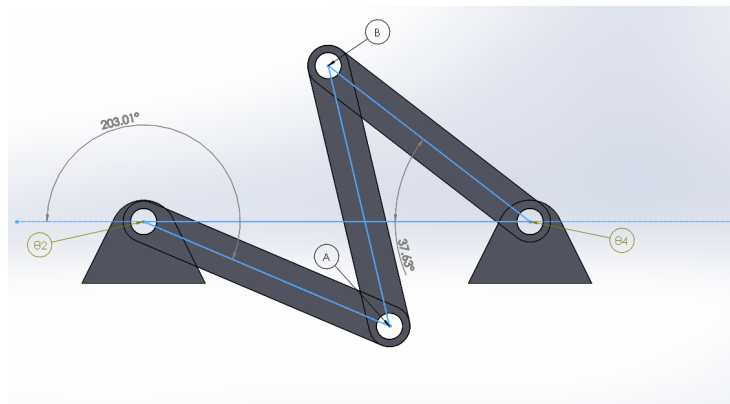


Figura. 22 Mecanismo puesto a 203° para corroborar el método analítico.

Con el fin de obtener resultados que se aproximen a la realidad se modificó el código del programa aumentando 44.66° como se muestra:

```
# MECANISMO DE CUATRO BARRAS
1
2 #DEFINICION DE LAS DIMENSIONES DE LOS ESLABONES
3 l1 = 94;
4 l2 = 65;
5 l3 = 65;
6 l4 = 62;
7 #theta_in = 0:1:359;
8 for theta_in = 1:360;
9
10 theta = deg2rad(theta_in);
11 theta_inajuste = (theta_in - 44.66);
12
13
14 Ax = l2 * cos(theta);
15 Ay = l2 * sin(theta);
16
17 h = sqrt((Ay).^2 + (l1 + Ax).^2);
18
19 alpha = atan(Ay ./ (l1 + Ax));
20
21 beta = acos(((l3).^2 - (l4).^2 - (h.^2)) ./ (-2 * l4 * h));
22
23 theta_out = alpha + beta;
24
25 By = l4 * sin(theta_out);
26 Bx = l4 * cos(theta_out);
27
28 theta_s = rad2deg(theta_out);
29 theta_sajuste = (theta_s - 44.66);
30
31 if iscomplex(theta_s)
32     printf("singularidad")
33 endif
34 printf("theta_in = %d, theta_inajuste = %d, theta_s = %d, theta_sajuste
35 = %d, Bx = %d, Ax = %d \n", theta_in, theta_inajuste, theta_s,
36 theta_sajuste, Bx, Ax);
37
    endfor
```

Al analizar la posición del mecanismo, se observa que el sistema restringe el movimiento de la barra de acoplamiento L3 dentro de un rango limitado. Esta restricción es el resultado de la longitud reducida de las barras de enlace L2 y L4, que se determinó previamente mediante la ecuación de Grubler. Es importante

destacar que esta restricción está directamente relacionada con la selección de la longitud de las barras del mecanismo para una tarea específica.

La limitación en el rango de movimiento de la barra de acoplamiento L3 puede tener implicaciones en el desempeño y la funcionalidad del mecanismo de la silla bipedestadora. Es esencial considerar cuidadosamente la longitud de las barras de enlace durante el diseño, ya que una elección inapropiada podría afectar negativamente la capacidad de la silla para proporcionar una bipedestación segura y cómoda.

También se identificó que es posible modificar la posición del extremo de salida del mecanismo al cambiar la posición del punto de conexión de la barra de acoplamiento. Esta capacidad de ajuste en el punto de conexión brinda una flexibilidad adicional en el diseño de la silla bipedestadora a escala. Al variar estratégicamente la posición del punto de conexión, se puede adaptar el mecanismo para cumplir con distintas funciones y requisitos específicos. Esto permite personalizar el comportamiento del mecanismo según las necesidades individuales de los usuarios, optimizando así su experiencia y comodidad durante la bipedestación.

V.VII Ensamblaje del prototipo y aplicación de mejora continua

El mecanismo tiene un movimiento controlado y suave, lo que lo hace apropiado para el proyecto aunado a que es posible ajustar la posición de salida del mecanismo cambiando la posición del punto de conexión de la barra de acoplamiento el cual brinda muchas ventajas para poder ajustar la trayectoria de la estructura. Aunque la restricción de movimiento de la barra de acoplamiento puede limitar la capacidad del mecanismo para realizar ciertas tareas complejas aún cumplirá con el objetivo principal. Existe la posibilidad de interferencia, donde una barra puede colisionar con otra durante el movimiento, lo que puede afectar su funcionamiento.

Se realizaron los ajustes necesarios al CAD principal para fusionarlo con el mecanismo diseñado mostrado en la Figura. 23.

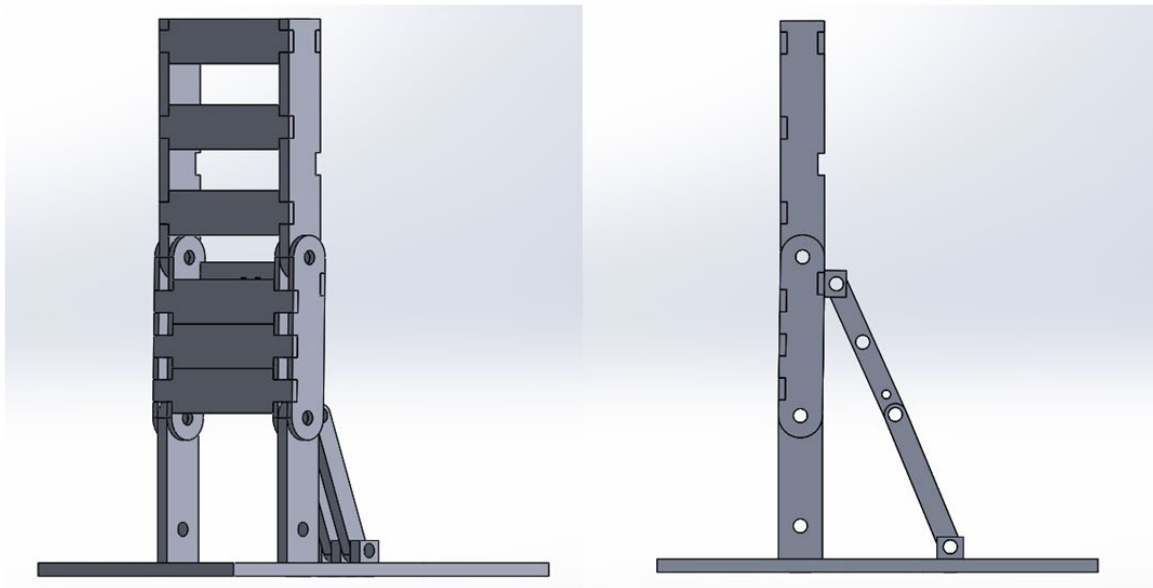


Figura. 23 Vista isométrica y lateral del primer prototipo.

Verificado el funcionamiento del mecanismo para asegurar que el modelo no presenta colisiones entre piezas que afecten el movimiento y previamente analizado el método de manufactura corte laser se realizaron los planos para definir las dimensiones del material a utilizar y las formas necesarias para su ensamblaje, finalmente se realizó la construcción del modelo con ayuda de los planos se logró que el modelo funcione de manera adecuada como muestra en la Figura. 24.



Figura. 24 Ensamble del primer prototipo.

Tras el ensamblaje del prototipo y la comprobación de su funcionamiento se identificó la necesidad de desarrollar un mecanismo que permita que la estructura del dorso adopte las posiciones anatómicas correctas con respecto al movimiento principal del mecanismo. Para lograrlo se implementaron diferentes propuestas partiendo del modelo físico. Se realizaron propuestas de diseño del mecanismo que garanticen la seguridad del usuario que permitan que la estructura se ajuste y adapte las diferentes posturas del cuerpo, para ello se idearon diferentes propuestas de mecanismos de ajuste de inclinación del asiento que interactúe con la parte principal del mismo y al mismo tiempo modificar de manera precisa, personal y controlada. Para su desarrollo se propusieron sistemas de poleas, engranajes, resortes entre otros.

Con la finalidad de probar la funcionalidad y versatilidad de las ideas propuestas se realizaron modificaciones y pruebas para saber qué tan funcional sería o como

se acoplaba sobre el mecanismo existente para poder desarrollar la tarea deseada. El proceso implicó una revisión detallada del diseño tomando en cuenta los movimientos y posiciones que se deseaba lograr en la parte del dorso. Se evaluaron las diferentes opciones para incorporar el mejor mecanismo que se adapte a las necesidades del proyecto.

La primera opción fue utilizar un mecanismo de poleas y resortes, que permita ajustar la posición del dorso mediante la aplicación de fuerza sobre el asiento, y este se ajustaría mediante la tensión de los resortes y la fuerza del mecanismo principal, la inclinación del respaldo se ajustaría por medio de poleas pero este mecanismo sería demasiado complejo y al intentar reajustar las dimensiones de la silla necesitaríamos cambiar la longitud del cable de acero lo que aumentaría el costo. Otra opción posible era hacer que el sistema funcionara por medio de pistones neumáticos o eléctricos que permitan adoptar la posición adecuada de una manera precisa y suave, pero al evaluar los costos de los actuadores se percibió que el mantenimiento de estos actuadores debe ser constante y cuando se llegan a dañar la silla se vuelve inservible por lo cual se descartó la idea. La idea de utilizar engranajes con el principio de funcionamiento de los asientos de los automóviles al evaluar el peso que estos deben soportar se notó que esta idea no era viable.

Por lo cual se optó por continuar desarrollando un sistema de eslabones que permita modificar de una manera sencilla y eficiente la posición, se desarrollaron distintos modelos y modificaciones a la silla evaluando la fluidez del mecanismo, la complejidad y la resistencia del dispositivo, en la Figura. 25 se observa las modificaciones realizadas

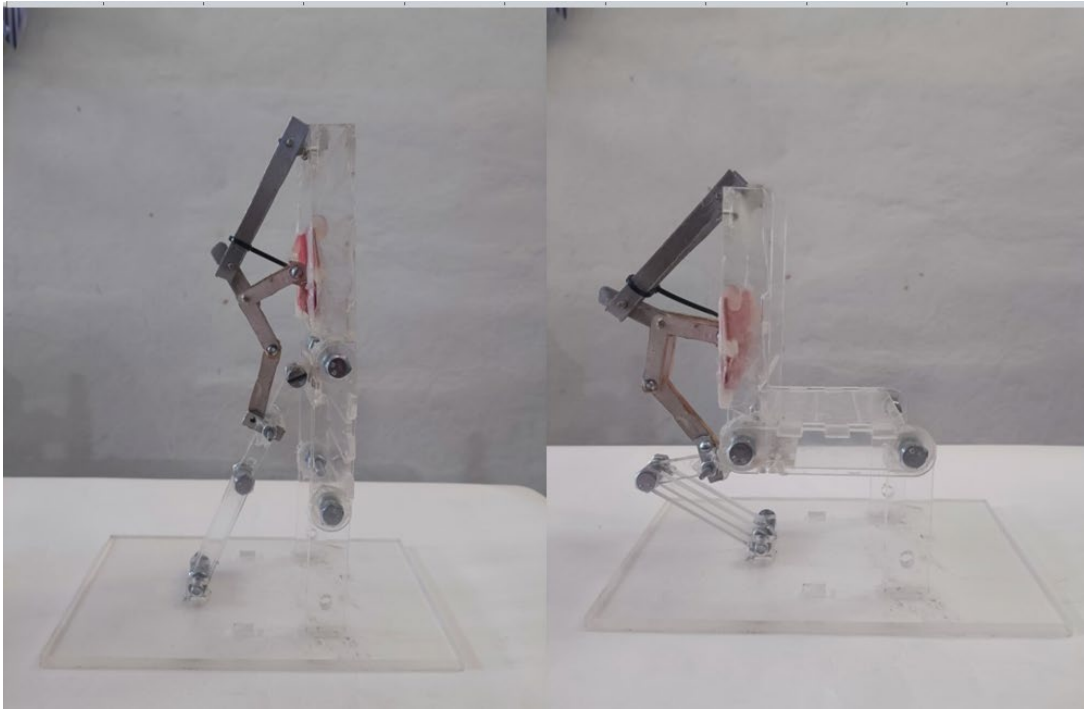


Figura. 25 Prototipos rediseñado con la postura bípeda y sedente.

Comprobado el funcionamiento del mecanismo se procedió a pasar el modelo físico al CAD mostrado en la Figura. 26, para realizar las pruebas de esfuerzos, análisis del mecanismo, realizar los ajustes pertinentes al modelo.

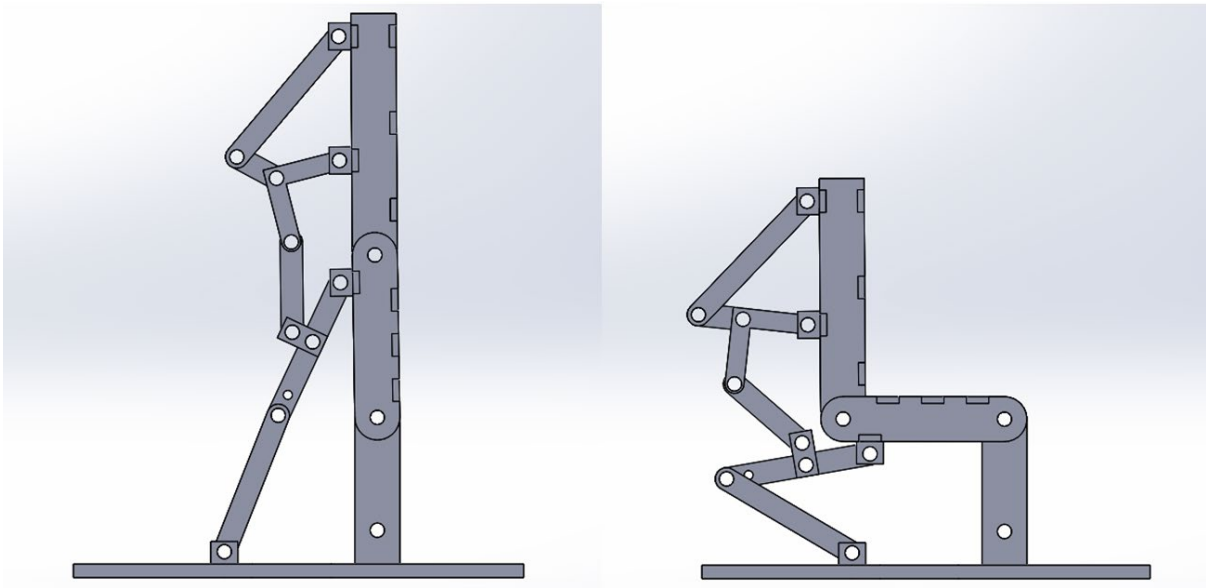


Figura. 26 Prototipo modelado en CAD.

En el desarrollo de la silla se consideró la importancia de implementar la posición de decúbito supino, ya que esta posición anatómica es vital en la vida diaria de cualquier persona. Sin embargo, para las personas que padecen alguna discapacidad motriz les resulta difícil pasar de una posición sedente al decúbito supino o de bípedo a decúbito supino y al mismo tiempo es una tarea complicada para sus familiares.

Consiente de este requerimiento, se priorizo la atención para que el desarrollo del mecanismo permita integrar la posición de decúbito supino con el objetivo de brindar a las personas con discapacidad motriz la posibilidad de realizar esta transición de manera sencilla, segura para ellos y para sus cuidadores. Enfocando en facilitar esta acción se analizaron diferentes maneras de integrar este movimiento por lo cual se consideró que una manera factible de realizar estas transición seria pasar de la bipedestación al decúbito como lo realizan las camas de bipedestación con la finalidad de lograr una transición suave y controlada como se muestra en la Figura. 27, gracias a que siempre se consideró la implementación de este movimiento en el desarrollo del mecanismo permitió que

se comportara de manera satisfactoria y en la Figura. 28 se observa el modelo CAD y el modelo físico en decúbito supino.

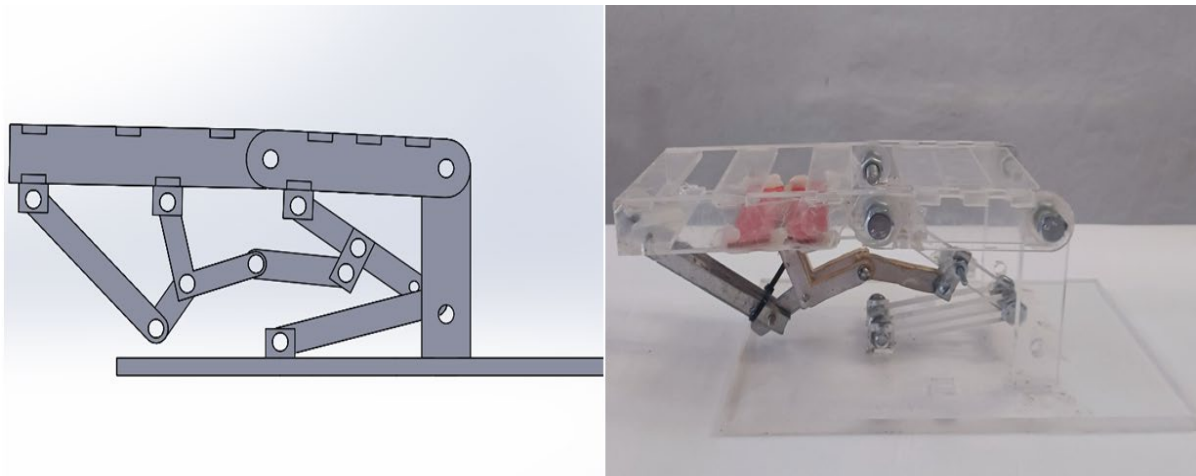


Figura. 27 Prototipos CAD y físico en posición decúbito supino.

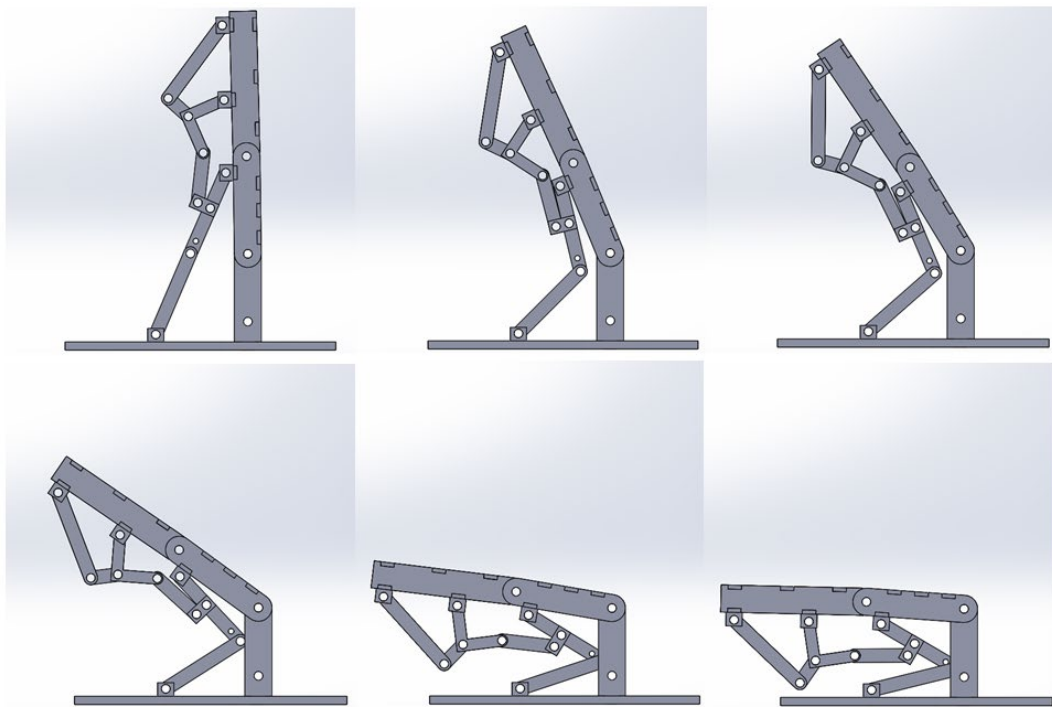


Figura. 28 Secuencia del prototipo para pasar de la bipedestación al decúbito supino, inicia superior izquierda, concluye inferior derecha.

Es fundamental analizar el comportamiento de los esfuerzos en este nuevo modelo para asegurar que sea capaz de resistir las cargas, tener una idea clara de los puntos más débiles de la estructura o los posibles fallos que pueden llegar a presentarse, así como asegurar el correcto funcionamiento del mecanismo. Sin embargo el modelo tiene muchos detalles por lo cual dificulta el análisis de esfuerzos que lo hace muy pesado y por consecuencia lento de procesar. Por estos motivos se simplifico el modelo eliminando detalles y reduciendo la complejidad de las superficies para analizar de manera más eficiente los esfuerzos que se producirán en el modelo bajo las cargas designadas.

En la simplificación del modelo se redujeron polígonos, simplificamos superficies manteniendo la geometría del CAD anterior y asegurando que la simplificación no afecte el análisis de esfuerzos, posteriormente se realizó el análisis de esfuerzos mediante las herramientas de simulación de elemento finito, se detectaron las tensiones y deformaciones que se producirán en la silla bajo una carga de 35 kg y distintas condiciones las cuales se observan en la Figura. 29.

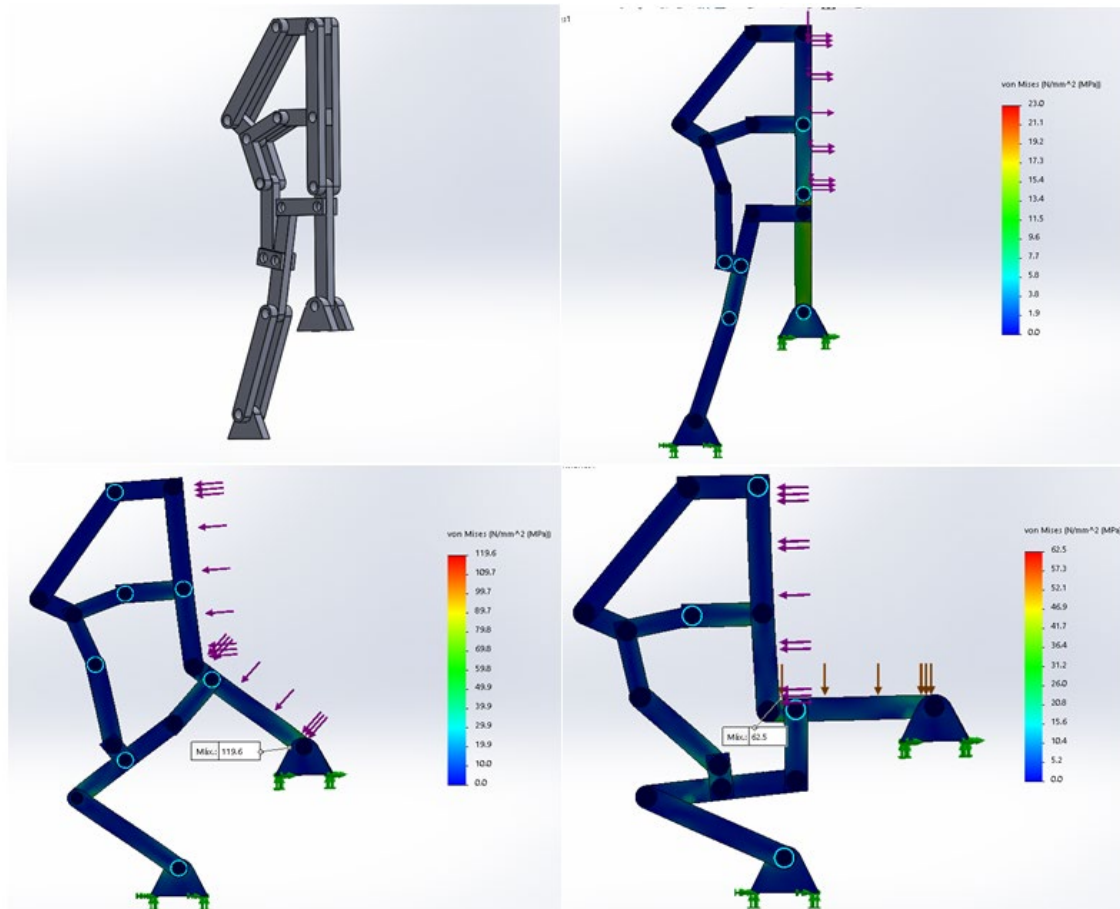


Figura. 29 Modelo CAD simplificado del prototipo sometido a prueba de tensión en distintas posiciones.

Con este análisis fue posible identificar las zonas que sufren mayores cargas y tensiones para realizar ajustes al diseño y reforzar esas zonas mejorando la resistencia de la silla, se identificaron posibles fallos y mejoras en el diseño, se realizaron diferentes simulaciones con la finalidad de encontrar métodos más eficientes que ayuden a mejorar el funcionamiento. Para abordar estos problemas, se realizaron ajustes al diseño con la finalidad de fortalecer las áreas que estaban soportando cargas mayores para redistribuirlas y tener un mejor manejo de ellas. Se optó por crear un prototipo a mayor escala como se observa en la Figura. 30, lo que permitió realizar pruebas más precisas y ver de manera real el comportamiento de los mecanismos en diferentes circunstancias, con la finalidad de evaluar y encontrar el mejor ángulo de acción, para soportar el peso se

anexaron barrenos en los eslabones del mecanismo para poder ajustar las longitudes de manera fácil, esto permitió tomar decisiones de manera adecuada sobre el diseño, evaluar el funcionamiento y practicidad del mismo. En la base del prototipo se realizaron distintos barrenos para evaluar la posición más conveniente para instalar el mecanismo, probando las diferentes posiciones y longitudes de las barras; se optó por dejar en la misma posición el mecanismo, se anexo un triángulo que permite que se sostenga la fuerza de la silla lo cual se muestra en la Figura. 31.



Figura. 30 Comparativa de los prototipos físicos.

Una vez que el segundo prototipo ha sido ensamblado, llevamos a cabo pruebas exhaustivas para evaluar su desempeño bajo cargas equivalentes a las reales y ciclos de trabajo.



Figura. 31 Segundo prototipo en las tres funciones de operación sedestación, bipedestación y decúbito supino.

También se incorporó al diseño el mecanismo de elevación de piernas el cual se muestra en la Figura. 32 y opera de forma secuencial al movimiento principal utilizando una palanca. Este componente adicional permite proporcionar soporte y ajuste a las piernas del usuario durante el proceso de decúbito. A través de la palanca, se activa un sistema que eleva suavemente las piernas, permitiendo que se mantengan en una posición adecuada durante el proceso de transición de la

bipedestación al decúbito. Al incluir este mecanismo de elevación de piernas en el diseño de la silla bipedestadora, se asegura una solución más completa y versátil, que se adapta a las necesidades individuales de los usuarios y proporciona una experiencia cómoda y segura.

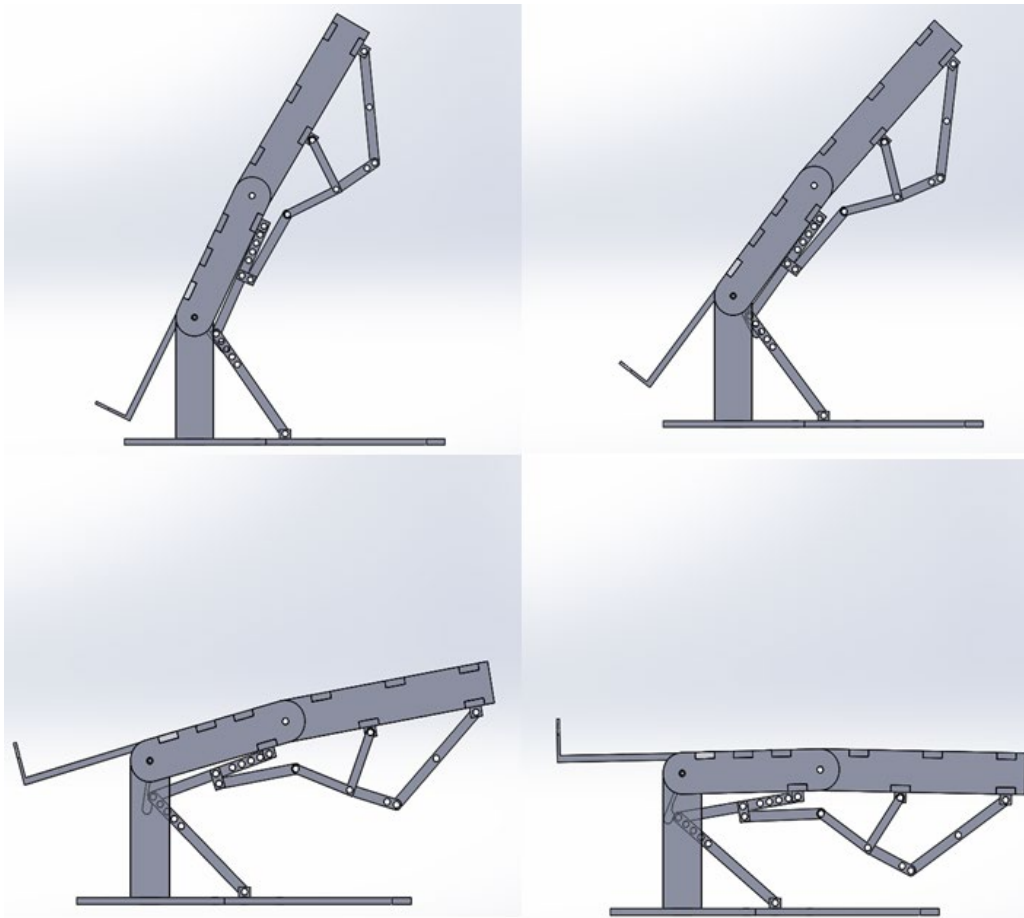


Figura. 32 Secuencia del segundo prototipo pasando de bipedestación a decúbito supino integrando el

mecanismo para elevación de piernas.

Este mecanismo adicional es especialmente beneficioso para usuarios con requerimientos específicos de apoyo y alineación de las piernas. Proporciona un ajuste personalizado y contribuye a mejorar la postura y la estabilidad durante la bipedestación.

Durante estas pruebas, el objetivo principal es identificar y analizar cualquier deformación o fallo que pueda ocurrir en el mecanismo.

Para lograr esto, se sometió el prototipo a diferentes cargas y fuerzas aplicadas, simulando las condiciones reales a las que se enfrentaría durante su uso. Se observó de cerca cualquier deformación o desviación que pueda surgir en las partes estructurales o en los componentes individuales del mecanismo. Además de las pruebas estáticas, también se realizaron ciclos de trabajo repetitivos para evaluar la resistencia y la durabilidad del mecanismo a largo plazo. Estas pruebas permitieron verificar si el prototipo es capaz de soportar el uso continuo y los movimientos repetitivos sin presentar fallas o desgastes prematuros.

Durante el proceso se identificaron ciertas deficiencias en el soporte, que se instaló con la finalidad de tener firmeza en la posición sedente, sin embargo, se observó que existen situaciones en las que el soporte no cumple completamente con estos requisitos al cambiar de la posición vertical a la posición de decúbito ocasionando interferencia con el mecanismo al realizar la transición.

Otro punto importante que requiere mejoras es el análisis detallado del esfuerzo generado al pasar de la posición de decúbito a la bipedestación, el cual es elevado y puede ocasionar fracturas en el eslabón en forma de V. Para resolver esta situación, se propone realizar cambios en el material utilizado para ese eslabón en específico. Es crucial garantizar la resistencia y durabilidad del mecanismo en todas las etapas de uso, incluyendo la transición a la bipedestación. Al evaluar el esfuerzo generado durante esta transición, detectamos que el eslabón en forma de V, juega un papel clave en el mecanismo, puede experimentar cargas superiores a su límite de resistencia, lo que resulta en fracturas y posibles fallos en el funcionamiento. Para abordar esta situación, se propone cambiar el material utilizado en este eslabón por uno de mayor resistencia y capacidad de carga. Es fundamental seleccionar un material adecuado que cumpla con los requisitos de resistencia mecánica y al mismo tiempo sea ligero para no comprometer la movilidad y funcionalidad general de la silla bipedestadora.

Además de elegir el material adecuado, también es importante considerar el diseño estructural del eslabón en forma de V para optimizar su resistencia y distribución de carga. Mediante un análisis detallado y simulaciones computacionales, se puede determinar la geometría óptima y las dimensiones adecuadas del eslabón para garantizar un funcionamiento seguro y confiable.

Esto implica realizar ajustes en los materiales utilizados, la configuración de los elementos de soporte y posiblemente la incorporación de características adicionales. El objetivo es garantizar que el mecanismo de la silla bipedestadora funcione de manera óptima en todas las etapas de su uso, incluyendo la transición a la posición de decúbito.

Identificados los puntos a mejorar y al contar con un panorama amplio de posibilidades, se ha llegado a considerar la opción de desarrollar propuestas adicionales de mecanismos basadas en el principal, con el objetivo de reducir elementos y lograr los mismos movimientos de manera más eficiente.

Esta estrategia permite explorar alternativas y optimizar el diseño del mecanismo de la silla bipedestadora a escala. Mediante un enfoque de ingeniería concurrente, se evalúa diferentes configuraciones y simplificaciones que puedan proporcionar una solución eficiente en términos de funcionamiento, costo y mantenimiento.

Una de las propuestas consiste en reducir el número de componentes sin comprometer la funcionalidad y los movimientos deseados. Mediante un análisis detallado de los elementos del mecanismo, identificamos aquellos que pueden ser eliminados o integrados en una sola pieza, simplificando así la estructura general y reduciendo la complejidad del sistema. Además de reducir elementos, también se exploró la posibilidad de utilizar materiales más ligeros y resistentes, lo que contribuiría a mejorar la eficiencia del mecanismo y facilitaría su fabricación y ensamblaje. Llevamos a cabo pruebas y simulaciones exhaustivas para evaluar el desempeño de cada propuesta y compararla con el diseño principal, con el fin de seleccionar la mejor opción para su implementación final.

VI Conclusión

El presente trabajo de investigación dio pauta para conocer la problemática a la que se enfrentan las personas con alguna discapacidad en México. Se identificaron las dificultades principales y las barreras que impiden su movilidad dentro de su entorno por lo que se propuso el desarrollo de un prototipo que pretende mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad motriz.

Los prototipos obtenidos mediante el desarrollo de la presente tesis se lograron al recabar documentación de la etiología y anatomía del cuerpo humano, así como al estudiar los mecanismos y las herramientas de apoyo a la movilidad existentes. Esto contribuyó a la evolución a partir del estudio y valoración de los pros y contras de cada modelo diseñado para satisfacer las necesidades tanto de los pacientes como de los cuidadores, lo cual permitió que el último prototipo cumpla con las características solicitadas al inicio del diseño manteniendo el objetivo principal.

Las simulaciones realizadas por software de los diferentes prototipos, indicaron la asequibilidad de los mismos y ayudaron a realizar la toma de decisiones que llevaron a la evolución del prototipo demostrando la viabilidad del proyecto. Además, la elaboración de los prototipos en físico ha sido fundamental para la obtención de los resultados validando el correcto funcionamiento del mismo, esto represento un reto como una satisfacción que permitió la mejora continua de los diseños.

En el trayecto de este proyecto logramos avanzar significativamente en la creación de un prototipo funcional el cual pretende ser una solución innovadora para las personas que se enfrentan a desafíos en su movilidad. Por eso es de sumo interés continuar con el desarrollo del prototipo funcional a escala real ya que existen numerosas oportunidades para mejorarlo y expandir su alcance pero depende del financiamiento, quedara pendiente debido a que no se encuentra en los alcances del presente trabajo. Es importante recordar que la inclusión y la accesibilidad son fundamentales para el desarrollo de cualquier individuo.

Bibliografía

- (1) Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo [Datos específicos, como página, sección, tabla o figura si corresponde]. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2021/EAP_PersDiscap21.pdf
- (2) Naciones Unidas. (2019). Guía de capacitación sobre la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad [PDF]. Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos 1. Recuperado de https://www.ohchr.org/sites/default/files/Documents/Publications/CRPD_TrainingGuide_PTS19_sp.pdf
- (3) Naciones Unidas. (s.f.). Derribar los obstáculos para las personas con discapacidad y hacer realidad la ciudadanía mundial. United Nations Chronicle. Recuperado de <https://www.un.org/es/chronicle/article/derribar-los-obstaculos-para-las-personas-con-discapacidad-y-hacer-realidad-la-ciudadania-mundial>
- (4) Organización de los Estados Americanos (OEA). (2011). Resumen del Informe mundial sobre la discapacidad [PDF]. Recuperado de <https://www.oas.org/es/sedi/ddse/paginas/documentos/discapacidad/DESTACADOS/ResumenInformeMundial.pdf>
- (5) Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH). (2019). Protocolo facultativo de la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad [PDF]. Recuperado de <https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/documentos/2019-05/Discapacidad-Protocolo-Facultativo%5B1%5D.pdf>
- (6) Coneval. (s.f.). Indicadores de Trabajo, ingreso y línea de pobreza laboral. Recuperado de

https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/ITLP-IS_pobreza_laboral.aspx

- (7) Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (s.f.). Clasificación de tipo de discapacidad [PDF]. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/clasificadoresycatalogos/doc/clasificacion_de_tipo_de_discapacidad.pdf
- (8) Centers for Disease Control and Prevention. (s.f.). Condiciones relacionadas con discapacidad. Recuperado de <https://www.cdc.gov/ncbddd/spanish/disabilityandhealth/relatedconditions.html>
- (9) Fondo Nacional de la Discapacidad. (2005). Manual de Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF). Recuperado de https://apps.who.int/iris/bitstream/10665/81610/1/9789243547329_spa.pdf
- (10) Cruz Roja. (s/f). Tipos y grados de discapacidad. Disponible en http://www.cruzroja.es/portal/page?_pageid=418,12398047&_dad=portal30&_schema=PORTAL30
- (11) Fundación Prevent. (2010). Guía para conseguir una prevención de riesgos laborales inclusiva en las organizaciones. Madrid, España: Comunidad de Madrid.
- (12) Secretaría de Desarrollo Social. (s.f.). Construyendo un mejor Frankenstein. Experiencias de usuarios en situaciones de discapacidad motriz [PDF]. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/3034/discapacidad_motriz.pdf
- (13) European Commission. (2009). Manual for teachers on inclusive education [PDF]. Recuperado de <https://includ-ed.eu/sites/default/files/documents/manual.inclusion.pdf>

- (14) Samaniego, A. L., Gutiérrez, G. M., Lasso, L. M., & González, C. A. (2013). Aproximación a la realidad de la discapacidad en Colombia: Dificultades en el acceso a los derechos. Recuperado de https://www.bivipas.unal.edu.co/bitstream/10720/647/1/260-Aproximacion_Realidad_Discapacidad-Samaniego%283%29.pdf
- (15) Norton, K., Olds, T., & Australian Sports Commission. (1996). Anthropometrica. University of New South Wales, Australia.
- (16) Moore, K. L., Dalley, A. F., & Agur, A. M. (2018). Anatomía con orientación clínica (8.ª ed.). Médica Panamericana.
- (17) Mondelo, P.R., Gregori Torada, E., & Barrau Bombardo, P. (1994). Ergonomia 1: Fundamentos. Edicions UPC.
- (18) Avila Chaurand, R., Prado León, L.R., & González Muñoz, E.L. (1995). Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana: México, Cuba, Colombia, Chile. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá.
- (19) Tilley, A.R., & Dreyfuss, H. (2002). The Measure of Man and Woman: Human Factors in Design. John Wiley & Sons.
- (20) Mabie, H. H., & Reinholtz, C. F. (1990). Mecanismos y Dinámica de Maquinaria. 2da Edición. Editorial McGraw-Hill.
- (21) Norton, R. L. (2013). Diseño de Maquinaria. Edición corta. McGraw-Hill Interamericana.
- (22) Organización Mundial de la Salud 1. (2023). Tecnología de asistencia. WHO. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/assistive-technology>
- (23) Organización Mundial de la Salud. (2019). Manual de Referencia de Tecnología de Asistencia. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/326613/9789241505765-refmanual-spa.pdf?ua=1>
- (24) Consejo Nacional para las Personas con Discapacidad. (s.f). La silla de ruedas permite tener mayor autonomía. GOB.MX.

<https://www.gob.mx/conadis/articulos/la-silla-de-ruedas-permite-tener-mayor-autonomia>

- (25) De Gracia Pino, F., Dellunde Sala, S., Germán Domínguez, M., & Conde Necesany, F. (2019). Rehabilitación de personas con discapacidad visual: revisión sistemática. *Educación e Investigación en Salud*, 1(1), 85-99. <https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/128683/1/128683.pdf>
- (26) Camacho-Cruz, A., López-Santos, F., Mancilla-Pérez, R., & Hernández-Zaragoza, D. (2017). Get-Up: Un sistema de asistencia personal para personas con discapacidad. *Ennomotive*. <https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/wordpress-production-offloaded-ennomotive/wp-content/uploads/2017/08/Proyecto-Get-Up.pdf>
- (27) Leckey. (s.f.). Sistema de sedestación infantil Mygo. Sunrise Medical. <https://www.sunrisemedical.es/posicionamiento/leckey/sedestacion/sistema-de-sedestacion-infantil-mygo>
- (28) EasyStand. (s.f.). Evolv XT Standing Frame [Página web]. Recuperado de <https://easystand.com/product/png50209-evolv-xt/>
- (29) Permobil. (s.f.). Permobil F5 Corpus VS [Página web]. Recuperado de <https://www.permobil.com/es-es/productos/sillas-de-ruedas-electricas/permobil-f5-corpus-vs>
- (30) Coordinación Estatal de la Sociedad de la Información y el Conocimiento. (2018). Estudio sobre el uso de las tecnologías de la información y la comunicación por parte de los hogares en el estado de Puebla [Informe de investigación]. Gobierno del estado de Puebla. Recuperado de https://coespo.puebla.gob.mx/publicaciones-y-presentaciones/download/537_66c28a2ee3a82dbaa40c0bd36bc4f30e
- (31) Instituto Electoral de la Ciudad de México. (2017). Infografía: Personas con discapacidad [Documento PDF]. Recuperado de

<https://www.iecm.mx/www/sites/paridad/01/docs/Infografiapersonasc ondiscapacidad2017.pdf>

- (32) Panero, J., & Zelnik, M. (1979). Las dimensiones humanas en los espacios interiores. Editorial Gustavo Gili.
- (33) Tilley, A. R., & Dreyfuss Associates, H. (1960). The measure of man and woman: Human factors in design. New York: The Whitney Library of Design
- (34) F5 corpus VS Permobil. (s.f.). F5 Corpus vs. F5 Corpus VS with ActiveHeight™. Recuperado el 22 de junio de 2023, de <https://www.permobil.com/es-es/productos/sillas-de-ruedas-electricas/permobil-f5-corpus-vs>.
- (35) Autor desconocido. (s.f.). [Imagen de bipedestador Pettit Supino personalizado]. Recuperado el 22 de junio de 2023, de https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-2034908668-bipedestador-pettit-supino-personalizado-_JM#position=24&search_layout=grid&type=item&tracking_id=0b1a109f-42d8-493c-b785-e0d7dbe78479.
- (36) peChoO. "How to Build a Dump Trailer without Hydraulics." *Wwww.youtube.com*, 9 Sept. 2022, www.youtube.com/watch?v=HOHSN6n99v0. Accessed 16 June 2023.

Anexos

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1 medición de pobreza en México 2020 nota porcentajes de carencias sociales y bienestar económico en México.	23
Figura. 2. Medición multidimensional de la pobreza en México 2020 nota porcentaje de la población en situación de pobreza y ubicación geográfica de entidades con mayor rango de pobreza.	24
Figura. 3 Sistema esquelético [16].	28
Figura. 4 dimensiones humanas de mayor uso [32].	29
Figura. 5 rangos de confort del cuerpo humano [33].	31
Figura. 6 Silla Bipedestadora Get Up Opencluster [26].	39
Figura. 7 silla bipedestadora leckey beme. Leckey [27].	40
Figura. 8 Silla bipedestadora easyStand Evolv XT EasyStand [28].	41
Figura. 9 silla bipedestadora permobil F5 corpus VS.	42
Figura. 10 Silla bipedestadora Otto Bock Xeno [29].	43
Figura. 11 Silla bipedestadora de mdf [35].	56
Figura. 12 Posturas adquiridas al pasar de la sedestación a la bipedestación.	59
Figura. 13 Posturas realizadas por el modelo CAD al pasar de la sedestación a la bipedestación.	62
Figura. 14 Ejemplo de mecanismo basculante realizado con eslabones [36].	64
Figura. 15 Vistas lateral e isométrica del mecanismo ideado para levantar el segundo eslabón (zona de los muslos).	66
Figura. 16 vista lateral y corte transversal de la simulación por tensión del mecanismo.	67
Figura. 17 Vista isométrica del estudio de desplazamiento del mecanismo.	67
Figura. 18 Vista isométrica del estudio de deformaciones unitarias del mecanismo.	68
Figura. 19 Vistas lateral e isométrica del mecanismo simplificado para el estudio de posición.	69
Figura. 20 Vista lateral del mecanismo de cuatro barras ajustado a 44.66° mostrando las variables conocidas.	70
Figura. 21 Mecanismo puesto a 90° para corroborar el método analítico.	73
	96

Figura. 22 Mecanismo puesto a 203° para corroborar el método analítico.	73
Figura. 23 Vista isométrica y lateral del primer prototipo.	76
Figura. 24 Ensamble del primer prototipo.	77
Figura. 25 Prototipos rediseñado con la postura bípeda y sedente.	79
Figura. 26 Prototipo modelado en CAD.	80
Figura. 27 Prototipos CAD y físico en posición decúbito supino.	81
Figura. 28 Secuencia del prototipo para pasar de la bipedestación al decúbito supino, inicia superior izquierda, concluye inferior derecha.	81
Figura. 29 Modelo CAD simplificado del prototipo sometido a prueba de tensión en distintas posiciones.	83
Figura. 30 Comparativa de los prototipos físicos.	84
Figura. 31 <i>Segundo prototipo en las tres funciones de operación sedestación, bipedestación y decúbito supino.</i>	85
Figura. 32 Secuencia del segundo prototipo pasando de bipedestación a decúbito supino integrando el.	86