



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño Conceptual De Una
Silla Bipedestadora Para
Niños Con Parálisis Cerebral**

TESINA

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Rodolfo Manuel Martínez Sánchez

DIRECTOR DE TESINA

M.I. Billy Arturo Flores Medero Navarro



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2026



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA SILLA BIPEDESTADORA PARA NIÑOS CON PARALISIS CEREBRAL que presenté para obtener el título de INGENIERO MECÁNICO es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

RODOLFO MANUEL MARTINEZ SANCHEZ
Número de cuenta: 318249920

Contenido

Agradecimientos	4
Objetivo	5
Impacto del Servicio Social	5
Antecedentes del proyecto	5
Introducción	6
1. Antecedentes	8
1.1 Panorama nacional de la discapacidad	8
1.1.1 ¿Qué es la parálisis cerebral?	8
1.1.2 ¿Qué parálisis presentan?	9
1.1.3 Clasificación acorde al grado motriz	10
1.1.4 Otros trastornos	11
1.2 Determinación del rango de edades	12
1.2.1 Límite inferior del rango	12
1.2.2 Límite superior del rango	13
1.3 Estado del arte	14
1.3.1 Afecciones en niños con PC	14
1.3.2 Importancia de la bipedestación	15
1.3.3 Tipos de bipedestadores	17
1.4 Ejemplos comerciales y patentes	19
1.4.1 Patentes	19
1.4.2 Ejemplos comerciales	21
1.5 Análisis del prototipo base	22
1.5.1 Evaluación del material del prototipo base	25
1.5.2 Justificación de diseño	27
1.5.3 Selección del tipo de bipedestador	27
2. Diseño conceptual	29
2.1 Requerimientos	29
2.2 Especificaciones	33
2.3 Análisis funcional	35

2.4 Definición del concepto.....	36
2.5 Limitaciones del concepto	38
2.6 Descripción del concepto.....	40
2.7 Diseño de configuración	44
2.7.1 Configuración A.....	44
2.7.2 Configuración B.....	46
2.8 Evaluación de las opciones.....	47
3. Diseño mecánico.....	48
3.1 Parámetros de diseño	48
3.1.1 Cálculo de carga a mover.....	48
3.1.2 Ergonomía y medidas antropométricas	50
3.1.3 Seguridad.....	52
3.1.4 Dimensionamiento del actuador	52
3.2 Diseño a detalle	54
3.2.1 Selección de materiales	54
3.2.2 Materiales estructurales	54
3.2.3 Material para mecanismos.....	55
3.3 Diseño asistido por computadora.....	56
4. Simulaciones y resultados.....	60
4.1 Análisis Modal de efectos y fallas.....	60
4.2 Análisis de elemento finito	62
4.3 Análisis de resultados	66
Conclusiones	67
Trabajo a futuro	69
Referencias	70
Anexos.....	72
Matriz QFD	73
Matriz de Materiales Estructurales	73
Matriz de Materiales de Mecanismos	74
Matriz AMFE	74
Planos.....	75

Agradecimientos

Como en la vida de cualquier persona, los cambios son inevitables, nos ayudan a crecer, a reflexionar sobre nuestra trayectoria y principalmente a conocernos a nosotros mismos, y aunque estos cambios son parte de la vida, son aquellas personas constantes en tu vida que lo hacen menos difícil, ya sea que vivan contigo o que los veas de vez en cuando, gracias a ellos tienes un sentimiento de pertenencia y de tranquilidad.

Es por ello que a través de mi vida académica, no solo de estos 5 años, quiero agradecer a las personas que estuvieron conmigo, no necesariamente que me ayudaron con tareas, o con conceptos que en su momento no podía entender, sino a aquellas personas que con su tiempo, cariño y amor, me brindaron la paz y estabilidad necesaria para poder lograr mis metas profesionales.

A mis padres que me brindaron todas las herramientas para poder soñar en grande y gracias a su cariño por siempre entender y darme mi espacio para crecer como persona y poder convertirme en lo que soy hoy en día, por todo su tiempo que invirtieron en mí, por cada noche que me enfermaba, por cada abrazo o beso que me daban, por cada momento de enseñanza lo agradezco profundamente.

A mi hermana que me otorgo algo más allá de lo que se puede entender como una amistad o una simple relación de hermanos, que si bien existen muchas interpretaciones de lo que significa un alma gemela, para mí, mi hermana es eso, que no se trata de ser iguales o pensar de la misma forma, va más allá y me brindo una compañera de vida desde el momento que nacimos.

A mis abuelos que me dieron un espacio seguro en donde me podía divertir y ser un niño, a mi abuela por cada ida a su casa en donde me preparaba mi comida favorita o íbamos a la Esquina del buen sabor, por cada momento de confianza en donde me tenías la confianza de contarme lo que sucedía en tu cabeza, a mi abuelo por cada cosa que me enseñó, desde tirar un pase de americano, hasta conducir un auto estándar, por siempre tener un envase con caramelos y compartirnos de él, aunque no estes físicamente presente, cada atesorable momento lo llevaré conmigo siempre.

Objetivo

Rediseño integral de un bipedestador existente, enfocado para niños con parálisis cerebral en un rango de edad de 5 a 9 años en donde se pretende realizar el diseño con el propósito de brindar autonomía al usuario, considerando sus medidas antropométricas así como sus necesidades primordiales y como otro objetivo general, se desea un diseño de bajo peso y costo con el uso de componentes mayormente comerciales en donde se brindará opciones de automatización de las funciones principales del prototipo.

Impacto del Servicio Social

Desde la etapa temprana del proyecto, se consideró abarcar un rango de edad clave de edad acorde a la información encontrada para que el dispositivo fuera lo más general posible, para ello se hizo una investigación integral de la discapacidad, tanto en lo social, como en lo económico, sus síntomas y padecimientos que pueden ocurrir si no se tiene contemplado la vida diaria del usuario y sus necesidades particulares. Para ello se encontraron muchas soluciones posibles para futuras iteraciones del proyecto, en donde por mencionar algunas están las opciones de acojinamiento, posible integración del dispositivo en un ambiente escolar y el diseño pensado en un sistema mecatrónico conceptual que automatice las funciones principales, todo en beneficio no solo del usuario también de toda persona que llegue a interactuar con el dispositivo. Cumpliendo con el objetivo del programa del servicio social “Abordar desafíos industriales y sociales mediante el diseño, desarrollo e investigación de sistemas mecatrónicos, aplicando conocimientos para crear soluciones innovadoras que impulsen el avance tecnológico y mejoren el bienestar comunitario, fomentando creatividad, pensamiento crítico y sostenibilidad”. Donde se cumplió con la siguiente lista de actividades:

- Diseño de modelos y prototipos mecatrónicos.
- Desarrollo de proyectos de beneficio social.
- Investigación sobre sistemas de automatización.
- Investigación sobre sistemas de diseño mecatrónico.

Antecedentes del proyecto

Para el proyecto en el cual quedan descritas las actividades del servicio social, como se explicó anteriormente, se tomó como base el bipedestador diseñado por el M. en D.I. Gustavo Rojas Coca,

debido a que no se contaba con información del proceso de diseño o alguna otra información relevante sobre el proyecto, se hizo un análisis únicamente del prototipo físico, la primer interacción con el dispositivo sirvió para identificar los puntos a mejora, principalmente de funcionamiento debido a que era poco intuitivo y en cierto punto, difícil de usar, se consultaron expertos en diseño y en este tipo de aparatos para tener un panorama no sesgado sobre el diseño actual, aquellos expertos nos dieron su retroalimentación destacando que los principales puntos de mejora son relacionados al material utilizado en su manufactura, el mecanismo bipedestador y el diseño de los sujetadores del usuario. Realizando una exhaustiva investigación sobre diferentes soluciones tanto escolares como las cuales ya existen en el mercado, se dieron soluciones, se obtuvieron los requerimientos del sector de interés, se tomó la decisión de un rediseño integral, considerando cambiar desde el material hasta el tipo de bipedestador que se diseñaría, originalmente el bipedestador anteriormente mencionado es uno de tipo fijo, con un mecanismo de inclinación que varía ligeramente su grado de inclinación, siendo este imposible de realizar con el usuario usando el dispositivo, hecho con madera y como sujetadores se usaron cuerdas de propileno con hebillas de plástico y un acojinamiento medianamente duro.

Introducción

Entre la población que padece alguna discapacidad, sus principales problemas radican en la dificultad o mera imposibilidad de movilidad, esto debido a problemas motores o cognitivos, es por ello que al pasar de los años, han surgido numerosas investigaciones y proyectos para aliviar sus necesidades primordiales, entre ellos están los procesos e investigaciones de rehabilitación, en donde surgieron dispositivos dedicados a mejorar la calidad de vida del usuario al brindarle autonomía y poder lograr ser personas más funcionales al no depender en todas las tareas de un padre o tutor. Durante parte de las actividades del servicio social, se investigó tanto las patentes, soluciones comerciales y soluciones desarrolladas por estudiantes, en donde en pocos trabajos se destacó la importancia del diseño enfocado en las necesidades del usuario. La diferencia que se destacará en este proyecto es que además de cumplir con los requerimientos y especificaciones, también se diseñará acorde a sus medidas antropométricas y al mejor rango de edad para empezar la terapia. Durante el desarrollo del proyecto se hizo una prioridad encontrar información actual y relevante que pudiera ser representativa del panorama de la enfermedad en México, por lo que esta información ayudo a diseñar acorde a el cambio de talla que se dará en la edad establecida, otorgando mejor comodidad durante el uso del prototipo manteniendo un diseño lo más simple posible para no elevar su costo.

Esta flexibilidad en el diseño debe estar respaldada con datos más precisos que se puedan encontrar, sin embargo, de antemano se declara que la información es escasa o por otros motivos, un poco imprecisa de acuerdo con la demografía de los ciudadanos de México, por lo que se hará la mejor aproximación para que los datos sean representativos para un diseño a la población mexicana. Acorde a lo que se tocará con más precisión en el capítulo 1, de la población total en México que con base en los datos del INEGI [[1]], en 2020 se tiene el registro que la población nacional fue de 126,014,024 de los cuales había 6,179,890 personas con discapacidad, lo que representaba 4.9% de la población y alrededor de 770 mil personas padecen Parálisis Cerebral (PC) lo que representa aproximadamente el 0.6% de la población total en donde la mayoría son mujeres [2], acorde a datos dados por la propia INEGI, también se determinará el rango de edad acorde a lo que arroje la investigación, para empezar la terapia y evitar padecimientos más graves que pueden llevar a empeorar la calidad de vida, se dará una breve explicación del estado de arte de los bipedestadores y sus tipos, soluciones en el mercado y patentes brevemente y finalmente las molestias que ocasiona tanto el padecimiento como el mal diseño de un bipedestador y los beneficios que trae consigo el dispositivo.

El capítulo 2 se centra en el diseño conceptual, en donde se obtendrán los requerimientos gracias a la contribución de información del proyecto CAPSEM I+DT “Desarrollo y Validación de Ayudas Técnicas para Niños con Parálisis Cerebral, Una Aproximación Integral con Participación Comunitaria para Diseño de Tecnología Apropriada”, se traducirá esto a especificaciones cuantificables, en donde nos dará las herramientas para realizar un análisis funcional para verificar que todas las necesidades del dispositivo queden plasmadas de forma adecuada. Se definirán los subsistemas en los que se dividieron las tareas para un mejor flujo de trabajo, después los diferentes conceptos ideados a través de bocetos a mano alzada explicando brevemente en que consiste la solución y para llevar cualquier solución a cabo se tomará en cuenta las limitaciones que debemos tomar en cuenta biomecánicamente para el usuario y así realizar un mejor diseño. Finalmente, con las opciones ideadas durante el servicio social, se diseñarán dos configuraciones detalladas con lo necesario para cumplir las funciones globales, en donde se someterán a juicio a través de una matriz de decisión comparando con los requerimientos y especificaciones.

En cuanto al diseño mecánico elaborado en el capítulo 3, se iniciará con los datos antropométricos del usuario en el rango de edad establecido anteriormente y de igual manera se establecerá la carga máxima que el actuador deberá mover durante el proceso de bipedestación, esto con el propósito de poder elegir un material apto para la tarea y principalmente que sea seguro en varias formas. Se expondrá el diseño a detalle que abarcará tanto el tipo de actuador para tener en cuenta y el modelo recomendado, además de aditamentos como la interfaz con el usuario y demás dispositivos

recomendados para una mejor experiencia y seguridad en su uso. Finalmente se presentará y detallará un modelo en CAD realizado con el software *SolidWorks*, en donde para fines demostrativos se hará principalmente tanto la estructura como el mecanismo bipedestador sin “fasteners” específicos, sin embargo si se detallará el calibre tanto del material usado como de los barrenos considerados en el diseño donde en futuras iteraciones esto se podría completar en el detalle del modelo.

Para validar que el modelo en CAD sea capaz de desarrollar el proceso de bipedestación sin mayor inconveniente en el capítulo 4, se someterá a análisis de elemento finito a piezas críticas que puedan comprometer el correcto funcionamiento del dispositivo con un análisis modal de efectos y fallas (AMFE). Se expondrán los resultados con su debida interpretación y su correspondiente factor de seguridad que se detallará en el capítulo asegurando que no esté sobredimensionado.

Finalmente se concluirá si se alcanzaron los objetivos del proyecto así como los puntos de mejora para futuras iteraciones del proyecto y como esto contribuirá efectivamente a solucionar la problemática definida al principio del trabajo. En los *Anexos* se encontrarán los planos, matrices y demás herramientas utilizadas a lo largo del proyecto.

1. Antecedentes

1.1 Panorama nacional de la discapacidad

Para proponer una solución adecuada a un problema, es fundamental comprender primero el contexto social en el que este se desarrolla. Esto requiere realizar una investigación integral que permita analizar el trasfondo del problema a resolver. En la introducción del trabajo se toco de manera breve las estadísticas nacionales, esto con el propósito de dar visibilidad al problema y dar lugar a la importancia de atender este sector que esta desatendido por instancias gubernamentales e incluso de instituciones privadas, esto como se habló previamente, a continuación se presentará con más detalle la información relevante para este caso de estudio y el desarrollo del proyecto.

1.1.1 ¿Qué es la parálisis cerebral?

La Parálisis Cerebral o PC es un conjunto de trastornos neurológicos que afectan de manera permanente el control del movimiento y la coordinación muscular. Esta afección surge debido a una lesión o por el desarrollo anormal del cerebro que puede ocurrir antes, durante o después del nacimiento. Aunque no es una enfermedad progresiva, es la principal causa de discapacidad en la infancia, y algunos síntomas pueden volverse más evidentes a medida que la persona crece [2].

El cerebro, al estar afectado, no puede enviar correctamente las señales a los músculos, lo que dificulta el control sobre el movimiento, la postura y el equilibrio. Además de los problemas motores, la

Parálisis Cerebral puede estar acompañada de trastornos sensoriales, perceptivos y psicológicos [2]. Entre las causas que pueden provocar Parálisis Cerebral adquirida después del nacimiento se incluyen el daño cerebral en los primeros meses o años de vida, infecciones como la meningitis bacteriana o la encefalitis viral, dificultades en el flujo sanguíneo hacia el cerebro o traumatismos craneales [2]. De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en México alrededor de 7.7 millones de personas viven con discapacidad, de estos, aproximadamente 770 mil personas tienen el diagnóstico de Parálisis Cerebral infantil [1].

1.1.2 ¿Qué parálisis presentan?

Las personas con Parálisis Cerebral pueden experimentar diversas afectaciones, como la falta de coordinación muscular en movimientos voluntarios (ataxia), rigidez muscular y reflejos exagerados (espasticidad), debilidad en una o más extremidades, caminar de puntillas o con una postura encorvada, salivación excesiva, dificultades para tragar o hablar, temblores o movimientos involuntarios, y problemas para realizar movimientos finos como escribir o abotonarse [2]. No obstante, el impacto de estos síntomas puede variar significativamente, desde una leve debilidad en una mano hasta la casi total incapacidad para realizar movimientos voluntarios.

Cuando se realiza un análisis descriptivo, se puede observar que hay 3 métodos de clasificación de las PC: *a)* según la distribución de los miembros afectados, y aquí nos encontramos que pueden estar afectados un hemicuerpo, los dos o varios miembros (hemiplejía, diplejía, triplejía, cuadriplejía) [2]; *b)* según el tipo motor de afectación: espástica, distónica, atáxica e hipotónica [2], y *c)* según el grado de afectación de la función motora (escala GMFCS, de Gross Motor Function Classification System) [3]. Por regla general, no existen formas puras de PC y la mayoría de los pacientes muestran una mezcla de los 3 tipos principales de parálisis que existen, según el tipo de perturbación en el movimiento:

- Hemiplejía/Hemiparesia espástica: Afecta principalmente un brazo y mano de un lado del cuerpo, aunque puede involucrar la pierna. Puede estar acompañada de convulsiones y retrasos en el habla.
- Diplejía/Diparesia espástica: Provoca rigidez muscular principalmente en las piernas, con menor impacto en brazos y cara. Los afectados suelen necesitar un andador o aparatos ortopédicos.
- Cuadriplejía/Cuadriparesia espástica: Causada por daño cerebral extenso, afecta gravemente las extremidades, dificultando o impidiendo caminar.

- Mixta: Es una combinación de síntomas de distintos tipos de Parálisis Cerebral, como la coexistencia de músculos rígidos y flácidos, creando una mezcla de tensiones.

1.1.3 Clasificación acorde al grado motriz

El sistema de clasificación de la función motora gruesa (GMFCS) para la parálisis cerebral se fundamenta en el movimiento iniciado por el propio paciente, destacando aspectos como el control del tronco en la sedestación, las transferencias y la movilidad [3]. Para establecer los cinco niveles de este sistema de clasificación, nuestro criterio principal es que las diferencias entre los niveles sean significativas para la vida cotidiana. Estas distinciones se basan en las limitaciones funcionales y en la necesidad de usar dispositivos de ayuda para caminar (muletas, bastones, andadores) o de movilidad en silla de ruedas (manual o eléctrica, autopropulsada o asistida), más que en la calidad del movimiento [3].

Se definen los niveles de manera general:

- NIVEL I - Camina sin restricciones.
- NIVEL II -Camina con limitaciones.
- NIVEL III -Camina utilizando un dispositivo manual auxiliar de la marcha.
- NIVEL IV -Auto movilidad limitada, es posible que utilice movilidad motorizada.
- NIVEL V -Transportado en silla de ruedas.

Diferencias entre los niveles I y II: En comparación con los niños y jóvenes del nivel I, los del nivel II presentan dificultades para caminar largas distancias y mantener el equilibrio. Pueden necesitar un dispositivo manual para iniciar el aprendizaje de la marcha y utilizan dispositivos con ruedas para recorrer largas distancias en exteriores o en la comunidad. Al subir y bajar escaleras, requieren apoyo del pasamanos y tienen menos capacidad para correr o saltar [3].

Diferencias entre los niveles II y III: Los niños y jóvenes del nivel II pueden caminar sin dispositivos manuales auxiliares después de los cuatro años (aunque a veces elijan usarlos). En cambio, los del nivel III necesitan un dispositivo manual para caminar en interiores y una silla de ruedas para el exterior y la comunidad [3].

Diferencias entre los niveles III y IV: Los niños y jóvenes del nivel III pueden sentarse solos o necesitar ayuda mínima ocasional. Pueden caminar con un dispositivo manual y son más independientes en las transferencias de pie. Por otro lado, los del nivel IV tienen movilidad limitada, se mantienen sentados con apoyo y generalmente son transportados en una silla de ruedas manual o eléctrica [3].

Diferencias entre los niveles IV y V: Los niños y jóvenes del nivel V presentan limitaciones severas en el control de la cabeza y el tronco, requiriendo tecnología avanzada para su asistencia. La auto movilidad es posible solo si el paciente puede aprender a usar una silla de ruedas eléctrica [3].

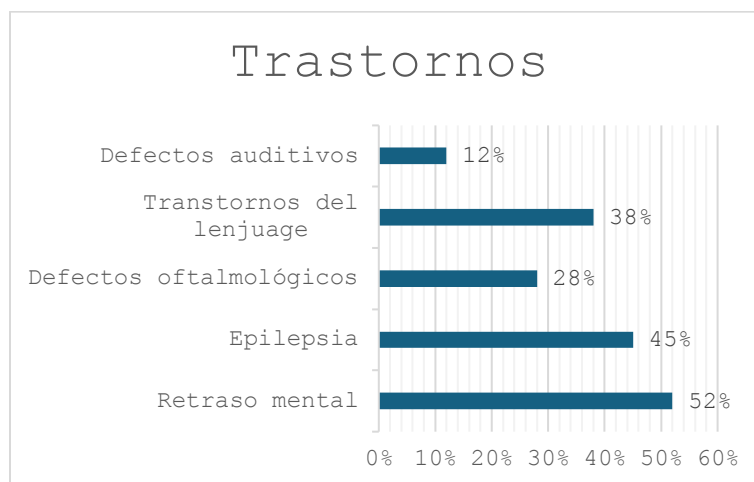
1.1.4 Otros trastornos

Los trastornos asociados que ocurren con más frecuencia en los niños afectados de parálisis cerebral son el retraso mental en un 52% de los casos, la epilepsia en el 45%, defectos oftalmológicos en el 28%, trastornos del lenguaje en el 38% y defectos auditivos en un 12%, como se muestra en la gráfica 1. Se ha demostrado que los niños que tienen anomalías en los estudios de neuroimagen presentan más posibilidades de tener uno o varios de estos déficits. Los niños con cuadriplejía espástica tienen un grado mayor de afectación mental que aquellos que presentan una hemiplejía espástica. En varias series importantes se señala que el retraso mental tiene una menor incidencia entre el grupo de niños con diplejía espástica o discinética [4].

Una cuestión que salió a relucir durante la investigación de datos y estadísticas de la parálisis cerebral en México, fue la falta de información más específica de la discapacidad, hay referencias generales como la tasa de incidencia en recién nacidos acorde a la población general, sin embargo para la gran prevalencia que hay la cuál es un 50% más que a nivel global, los estudios son limitados o acotados a regiones pequeñas del país, del estudio “Incidence of Cerebral Palsy, Risk Factors, and Neuroimaging in Northeast Mexico” [5] explica que debido a un estudio de la epidemiología de la parálisis, no se ha recabado información en México ni en algunos otros países latinoamericanos, y que la poca información que hay se centra en encuestas nacionales generales y principalmente que no tienen en enfoque adecuado, ya sea en la discapacidad, diagnóstico, clasificaciones y sus sistemas de evaluación pediátricos.

Esto sobrepone un problema mayúsculo principalmente por dos factores, acorde al control de enfermedades de estados unidos, el costo de criar a un hijo con parálisis cerebral es hasta 10 veces mayor a un niño sin discapacidad y esta cifra puede crecer hasta 26 veces más si se considera que además la persona también es diagnosticada con discapacidad intelectual [6], esto toma mucha importancia considerando que el otro factor es la desigualdad económica en el país, en el estudio

realizado en el noroeste del país, el 90% de sus madres tienen un estatus socioeconómico frágil y dos tercios han dado a luz a su primer o segundo hijo [5], por ello es importante un mayor y mejor recabado de datos para entender de mejor manera como enfrentar el problema, y es por ello que el trabajo en cuestión de tareas que necesiten datos precisos será difícil.



Gráfica 1. Trastornos comunes en niños con PC

1.2 Determinación del rango de edades

Para empezar, es importante investigar la edad en la que comúnmente se diagnostica la parálisis cerebral en México. Como es de conocimiento general, el Gobierno Federal iniciado por Andrés Manuel Lóez Obrador ha dificultado el acceso a los servicios médicos, lo que también se tomará en cuenta para la selección del rango de edad. Según datos del INEGI [2], hay aproximadamente 770 mil personas diagnosticadas con Parálisis Cerebral Infantil. Aunque la gran mayoría de los menores con esta discapacidad son detectados en sus primeros años de vida, en los casos donde los síntomas no son notorios, el trabajo del médico para hacer un diagnóstico confiable suele ser muy difícil, y puede pasar hasta cinco años para que se detecte la condición en un infante.

1.2.1 Límite inferior del rango

Una cuestión relevante para saber la edad recomendada mínima que se recomienda iniciar el tratamiento sin arriesgar en gran medida la salud del infante es la importancia de la bipedestación temprana. Aunque es claro que entre más temprano se diagnostique y se empiece a dar el tratamiento correcto los riesgos serán menores, sin embargo, como se habló previamente el diagnóstico por motivos sociales o económicos pueden retrasar este evento y el retraso o la ausencia del uso de un bipedestador y de otros tratamientos en edades tempranas conlleva riesgos que afectarán tanto la salud como la calidad de vida del niño. El riesgo de subluxación y luxación de cadera está directamente

relacionado con el nivel en el Sistema de Clasificación de la Función Motora Gruesa (GMFCS). Para evaluar el nivel de riesgo en las caderas, el parámetro más utilizado es el índice de Reimers o porcentaje de migración (PM), que mide el porcentaje de la cabeza femoral que queda fuera del margen lateral del acetábulo[7].

Los niveles de estabilidad de cadera, según los valores del PM, son los siguientes:

- En niños menores de 5 años, el riesgo es del 20-30%.
- En niños mayores de 5 años, el riesgo es <30% dentro de los límites normales de estabilidad, 30-60% para subluxación, 60-90% para subluxación grave, y >90% para luxación completa.

Teniendo estos datos en cuenta, se definirá como límite inferior del rango de edad los 5 años, considerando las deficiencias en el sistema de salud debido a la desaparición del Seguro Popular. Además, de acuerdo con datos de INEGI, en 2023 más mexicanos acudieron a clínicas, laboratorios y hospitales privados para consultas o análisis clínicos [8]. Tomando en cuenta el nivel de pobreza en nuestro país, este retraso en el diagnóstico es mayor, puesto que la atención en hospitales públicos es difícil y la atención en establecimientos privados resulta costosa.

1.2.2 Límite superior del rango

Para la selección del límite superior, nos basaremos en una gráfica de percentiles de niños de 2 a 20 [9]. Dado que los niños con parálisis cerebral presentan baja densidad ósea y, en algunos casos, inician con atrofia muscular, solo se tomarán en cuenta los índices de estatura, ya que los de peso varían de manera impredecible. Se elegirá el rango de edades más amplio posible, sin dificultar excesivamente el diseño del mecanismo de ajuste ni comprometer la calidad del producto, asegurando así la comodidad y personalización para el rango de edades.

En la tabla 1 se muestran los datos de los límites desde la edad de 5 hasta 9 años:

Edad del usuario en años	Estatura del percentil 75% en [cm]	Estatura del percentil bajo en [cm]
5	115	100
6	122	106
7	129	111
8	135	117
9	142	122

Tabla 1. Medidas en percentiles del rango de edad deseado [9]

Según una encuesta realizada por Ensanut, en México, al menos el 12.6% de los menores de 5 años presentan talla baja [10]. Este indicador revela que el niño promedio mexicano no suele ser alto. Sin embargo, el propósito del proyecto es desarrollar un prototipo que abarque un amplio rango de edades, acorde a la información obtenida. Los datos indican que, en general, los niños en México tienden a tener estatura baja.

Otro aspecto importante a considerar es la edad en la que los niños entran en la pubertad. Estudios muestran que este proceso ocurre generalmente entre los 9 y 14 años [11], lo que representa una etapa de cambios bruscos tanto hormonales como en el crecimiento. Por lo tanto, a partir de este periodo, la estatura deja de ser predecible y no sigue un comportamiento lineal, a diferencia del rango de edades de 5 a 9 años, por lo que para el proyecto este será el rango de edades en el cual se diseñará

1.3 Estado del arte

1.3.1 Afecciones en niños con PC

Se recopilaron mediante varias fuentes dadas en el curso ya antes mencionado, las siguientes molestias y dolores presentes en los pacientes con PC:

- **Espasticidad y rigidez muscular:** La espasticidad se caracteriza por una hipertonía muscular sostenida, que provoca que ciertos músculos permanezcan en un estado constante de contracción. Esta condición genera dolor crónico, especialmente en las extremidades y la espalda, debido a la tensión muscular continua. La rigidez prolongada también puede derivar en deformidades musculoesqueléticas, impactando directamente en la movilidad y el bienestar del paciente[2].
- **Contracturas:** Las contracturas se presentan como resultado de una inmovilidad prolongada o de un control neuromuscular deficiente. En estos casos, los músculos y tendones se acortan de forma irreversible, limitando el rango de movimiento de la articulación afectada. Este fenómeno genera un dolor intenso y puede requerir intervenciones quirúrgicas o terapias específicas para su corrección[12].
- **Dolor articular:** Las posturas anómalas adoptadas por los pacientes con PC, junto con los esfuerzos compensatorios al desplazarse, provocan una sobrecarga en las articulaciones. Esto genera un desgaste prematuro del cartílago articular, derivando en procesos inflamatorios dolorosos que limitan aún más la movilidad[12].
- **Compresión nerviosa:** Debido a la adopción prolongada de posturas inadecuadas o forzadas, se pueden comprimir ciertos nervios periféricos. Esto genera síntomas como hormigueo, entumecimiento y en casos severos, dolor neuropático crónico. Esta condición afecta

principalmente regiones como la columna vertebral, los miembros superiores e inferiores. Lo que puede llegar a desarrollar úlceras por presión en la cadera, espalda y los talones[12].

- **ERGE (Reflujo gastroesofágico):** El ERGE es una condición frecuente en personas con PC debido a la debilidad del esfínter esofágico inferior, que permite el retorno del contenido gástrico hacia el esófago. Esta situación se ve agravada por la posición prolongada en decúbito (acostado) o por dificultades para tragar (disfagia), generando ardor estomacal, dolor torácico y riesgo de aspiración pulmonar[13].
- **Problemas digestivos:** La falta de movilidad, combinada con una postura encorvada o presiones abdominales constantes, puede ralentizar el tránsito intestinal y provocar estreñimiento crónico, dolor abdominal e incluso impactaciones fecales[12].
- **Estrés:** El dolor crónico y las dificultades motoras suelen desencadenar niveles elevados de estrés, tanto físico como emocional. El estrés muscular agrava la espasticidad, mientras que el estrés psicológico intensifica la percepción del dolor y puede conducir a episodios de ansiedad o depresión[12].

Molestias por uso de órtesis: El empleo de dispositivos ortopédicos (órtesis) es común en pacientes con PC para facilitar la postura, la marcha o la movilidad. Sin embargo, un mal ajuste o un diseño inadecuado puede generar puntos de presión excesiva, provocando incomodidad, irritación cutánea e incluso úlceras por presión en zonas específicas del cuerpo.

1.3.2 Importancia de la bipedestación

Durante la investigación realizada en cuanto a los modelos ya existentes en el mercado que se abarcará en el siguiente apartado, se recabó información sobre en que ayuda a la salud mental y física de un bipedestador [14]se encontraron los beneficios generales de la terapia de la bipedestación, entre ellos:

- **Función respiratoria:** La bipedestación mejora la función respiratoria, ya que el cambio de posición permite la relajación de los músculos y órganos que conforman el sistema respiratorio, favoreciendo un mejor funcionamiento. Al adoptar una postura erguida, la presión sobre el diafragma disminuye, lo que facilita una mayor circulación del oxígeno. En posición sedente, las personas con limitaciones motoras suelen experimentar una compresión torácica que dificulta la respiración; en cambio, al ponerse de pie, la columna vertebral se mantiene alineada y se reduce la presión sobre el aparato respiratorio, permitiendo una mejor oxigenación y circulación sanguínea.

- **Flujo sanguíneo:** Cuando el paciente logra estar de pie, su circulación sanguínea mejora, principalmente por dos razones, la primera siendo que el sistema circulatorio mantiene una fuerte conexión con el sistema respiratorio por lo que al estar de pie y como se habló en la sección pasada, el oxígeno llega de mejor manera a todas las partes del cuerpo. Por otro lado, cuando el paciente pasa largos momentos sentado la sangre suele no circular apropiadamente y no retorna apropiadamente, al cambiar de postura se remedia ese problema en las extremidades inferiores y reduce el riesgo de sufrir una trombosis.
- **Función de la vejiga e intestinal:** Al estar de pie, se mejora el buen funcionamiento de la vejiga y de la función intestinal, logrando el llenado y vaciados de estos de una mejor manera, al drenar mejor la orina se evita la acumulación de bacterias que puedan provocar una infección y logra que puedan tener una mejor higiene en general, ya que cuando se drena la orina de manera completa evita la acumulación de bacterias u organismos que provocan la infección, además que a la larga los cálculos renales no serán un problema.
- **Densidad ósea:** Al iniciar el proceso terapéutico en una etapa temprana, se evita la pérdida de densidad mineral ósea, lo que previene que los huesos se vuelvan frágiles debido a la falta de fuerza que se aplica a ellos (peso corporal) cuando la persona está en posición sentada. Para contrarrestar este efecto, es necesario fomentar la bipedestación, ya que esta postura favorece la formación adecuada de los huesos, previniendo posibles complicaciones como la displasia de cadera, osteoporosis y deformidades óseas.
- **Úlceras por presión:** Son lesiones en la piel y en los tejidos que son ocasionados debido a una presión constante sobre la piel, en su mayoría aparecen sobre la piel que cubre los huesos (coxis, omoplatos, columna vertebral, etc) usando un cojín que permita al usuario adquirir una posición correcta y alivie esta presión es la manera más eficaz de evitar esto.
- **Reducción de contracturas y espasticidad:** Es un desequilibrio del sistema nervioso central que afecta el movimiento en diferentes zonas del cuerpo, afecta a los músculos cuando no se producen contracciones lo que ocasiona rigidez, al cambiar de posición se hará que los músculos de las extremidades inferiores se estiren y se suelten, además que reduce los espasmos y contracturas. Si el usuario no cuenta con una silla bipedestadora, necesitará asistencia para estirar los músculos, con el dispositivo hacerlo de forma autónoma y cuantas veces sea necesaria y recomendada por los médicos.

- **Autonomía:** Uno de los efectos positivos en cuanto al ámbito social es la autonomía que se le otorga al usuario, debido a que una actividad que es necesario recibir ayuda de otra persona para lograr esta posición, con un bipedestador eléctrico, brinda más seguridad y confianza al usuario, hace que el usuario alcance la altura de sus compañeros y no se sienta intimidado o menospreciado.
- **Activación en la participación social:** Similarmente, al otorgar más participación en ciertas actividades, consecuentemente ayuda al usuario a poderse incluir en actividades sociales que por la limitante de la disminución de la motricidad, no sería capaz, por ejemplo en conversaciones con compañeros de su misma edad, al estar a la misma altura se le otorga al usuario la confianza necesaria y poder participar más activamente en ella.

1.3.3 Tipos de bipedestadores

Antes que nada hay que establecer brevemente que es un bipedestador, es dispositivo médico o ayuda técnica que se utiliza para posicionar a una persona en postura vertical cuando es el caso que tienen problemas de control motor, su principal objetivo es evitar las complicaciones respiratorias, digestivas, cardiovasculares o musculares que pueden presentarse debido a mantener la misma posición durante mucho tiempo [15].

Aquellas personas que necesitan de este dispositivo son las que tienen una discapacidad física que no les permite ponerse de pie por sí mismos debido a una debilidad en el control motor tal cual en los siguientes casos [15].

- Parálisis cerebral.
- Enfermedad genética caracterizada por debilidad muscular.
- Enfermedad degenerativa y neurológica.
- Lesión medular (congénita o adquirida).

En el mercado hay varios tipos de bipedestadores, en donde se pueden clasificar acorde a los siguientes parámetros:

-Según la posición [15]:

- **Prono:** la posición prona también conocida como decúbito prono se refiere a la posición corporal hacia abajo con un apoyo sobre el abdomen. Ayuda a posicionar a la persona en postura vertical de manera progresiva. Presenta un apoyo en el abdomen y un soporte pélvico que ayuda a conseguir una correcta alineación de las piernas.
- **Supino:** la posición supina o decúbito supino se refiere a una posición corporal hacia arriba con apoyo sobre la espalda. Ayuda al paciente a conseguir un mejor control de la cabeza, tronco, pelvis y piernas. Indicada para personas que no tienen un buen control de la cabeza y de la cintura escapular.
- **Tabla supina:** como en el tipo supino, está indicada para personas que no tienen un buen control anti gravitacional de la cabeza y cintura escapular.

Se recomienda una posición prona para los niños que pueden mantener el control de la cabeza. Los bipedestadores inclinados sostienen al niño desde la parte delantera del cuerpo en una posición de inclinación hacia adelante [15]. Aparte del soporte de peso y la extensión de las caderas y rodillas que está ocurriendo, esta es una gran posición para el desarrollo de los músculos extensores del cuello y de la parte superior del tronco para el control postural.

Para mantener una posición de pie, se requiere la extensión de rodilla y cadera. El equipo puede y debe proporcionar el apoyo necesario y un control externo para que esto sea posible.

Alrededor de los 10 meses de edad, la mayoría de los niños empiezan a ponerse de pie intentando agarrarse a los barrotes de la cuna o a otros objetos estables pero en el caso de que no sean capaces de hacer esta actividad y poder mantenerse en una posición vertical.

-Según la movilidad [16]:

- **Estáticos:** Diseñado con el propósito de mantener al usuario en una posición fija sin ninguna movilidad y usados principalmente en terapias y ejercicios de fortalecimiento.
- **Móviles:** Diseñados para poder moverse con el uso de ruedas, enfocado en la autonomía e interacción social
- **Bipedestador integrado en silla de ruedas:** Un modelo que contempla la integración de la función de bipedestación a través de un mecanismo en la silla de ruedas, combina las mejores cualidades de los anteriormente mencionados

-Según el tipo de fuente de movimiento[17]:

- **Manuales:** Son aquellos en los que si tienen capacidad de movimiento, es necesario que una persona haga el movimiento, ya sea el usuario del dispositivo o alguien externo.
- **Eléctricos:** El principio de su movimiento esta dado por actuadores eléctricos, en donde las funciones están automatizadas para mayor confort del usuario.

1.4 Ejemplos comerciales y patentes

Como parte de la investigación realizada durante el servicio social, se llevó a cabo la búsqueda de soluciones comerciales y patentes relacionadas con bipedestadores. El objetivo de esta revisión fue identificar cómo diferenciar nuestro producto del resto del mercado y, al mismo tiempo, analizar ideas ya existentes que pudieran adaptarse y contribuir a la visión establecida para el proyecto en las ramas de ergonomía, seguridad, materiales y otros datos técnicos utilizados para su construcción.

A continuación se presentarán los hallazgos más importantes:

1.4.1 Patentes

Patente: ES1220753 - SILLA DE BIPEDESTACION

Resumen: Una silla de bipedestación que de un modo simple y controlado permite la incorporación de una persona sin necesidad de personal auxiliar alguno y sin esfuerzo por parte de la persona sentada, dando más autonomía y libertad en el trabajo, reduciendo el riesgo de contracturas musculares. El dispositivo cuenta con un mando de control remoto que permite a un usuario de manera autónoma ponerse de pie en posición erguida sin ayuda de persona alguna, además, brinda la posibilidad de recoger objetos que se encuentran en lugares altos además de realizar trabajos manuales sencillos como cocinar, dibujar, pintar, entre otros. Además, la posición erguida mejora la circulación, pero también entre otros beneficios contribuye al tránsito intestinal, mejora de la capacidad pulmonar, el fortalecimiento muscular y óseo.

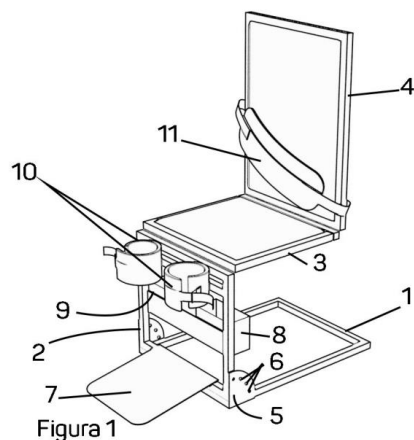


Figura 2. Silla de bipedestación

Patente: ES1218574U-Bipedestador multipropósito para uso médico-terapéutico

Resumen: Bipedestador multipropósito para uso médico-terapéutico, que comprende un dispositivo de diseño modular reconfigurable de asistencia bípeda, un marco base sobre cuatro ruedas giratorias o fijas frontales, un conjunto superior de marco riel articulable posicionado mediante tubos de soporte en compresión removibles y plegable sobre sí mismo, un conjunto o marco pórtico de soporte pélvico con empuñadura para agarre, un conjunto o marco pórtico de soporte de axilas, ambos integrados a una varilla roscada con sus respectivas unidades de tornillo y resortes helicoidales calibrados, soportados por dos pórticos-carril.

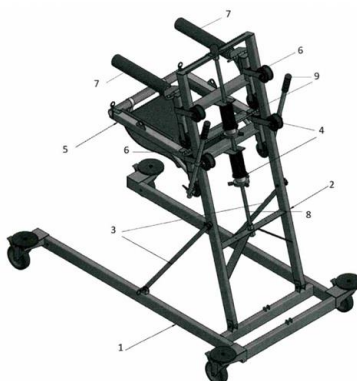


Figura 3. Bipedestador multipropósito

1.4.2 Ejemplos comerciales

Bipedestador infantil Mini Standy

El bipedestador infantil Mini Standy está diseñado para favorecer la adaptación postural del niño, permitiéndole mantener una posición segura que facilite la exploración del entorno y el contacto físico y social, pudiendo utilizarse en espacios cotidianos como el hogar, la escuela, la guardería o la comunidad, lo que promueve su participación activa e integración. Su chasis combina piezas fijas recubiertas con pintura epóxica no tóxica y elementos regulables cromados, todos ajustables mediante pomos ergonómicos que no requieren el uso de herramientas. Incluye correas de alta resistencia para toma pélvica y torácica fabricadas en poliéster con cinturones de velcro cosidos, una mesa de madera con laminado plástico ajustable en altura y profundidad, así como barras numeradas que facilitan el ajuste exacto de la altura del chasis para distintos usuarios. Dispone de soportes de talones regulables en anchura y profundidad y soportes de rodillas ajustables en altura, anchura, rotación y profundidad, además de ruedas macizas de 75 mm de diámetro equipadas con frenos para asegurar la estabilidad durante su uso. Su base de madera, resistente y ligeramente flexible, proporciona un efecto elástico que estimula al niño a activar la musculatura para mantener la posición erguida, contribuyendo a reducir la postura hipotónica [18].



Figura 4. Bipedestador Mini standy

Silla bipedestadora Infantil Mini Eléctrica

La silla Bipedestadora Mini Eléctrica es un bipedestador infantil totalmente eléctrico que permite al usuario desplazarse mediante un joystick y ponerse de pie de forma automatizada, ofreciendo autonomía a niños de 90 a 115 cm. Cuenta con una estructura de acero con pintura electrostática, ruedas traseras de 12", delanteras de 8" y horquillas de alta resistencia. Incorpora respaldo de tensión ajustable, cojín desmontable de espuma PU, base de asiento textil ajustable y tapicería resistente al agua. Incluye soportes en rodillas y pecho, soporta hasta 40 kg y pesa 35 kg. Funciona con una batería recargable de 24V y 12 Ah con autonomía de 4 a 6 horas. Sus dimensiones y varios componentes, como asiento, respaldo y altura, pueden fabricarse a medida, alcanzando un tamaño máximo de 65 × 60 × 80 cm y dimensiones de transporte de 55 × 58 × 48 cm [19].



Figura 5. Silla bipedestadora infantil mini eléctrica

1.5 Análisis del prototipo base

Una de las primeras actividades del programa de servicio social, fue la identificación de las principales problemáticas respecto al mecanismo y a su funcionamiento, con ayuda de los conocimientos adquiridos dentro del curso “Desarrollo y Validación de Ayudas Técnicas para Niños con Parálisis Cerebral, Una Aproximación Integral con Participación Comunitaria para Diseño de

Tecnología Apropriada”, se concluyó que el prototipo actual en primera instancia no es de ninguna manera intuitivo. Tiene varios problemas en cuanto a la colocación de la mesa puesto que es muy complejo y no hay una forma lógica como se deban acomodar los componentes para su colocación entre otros, a continuación se detallan a profundidad.

- **Mecanismo de bipedestación:** El mecanismo actual del prototipo, que permite una ligera variación en los ángulos de bipedestación, presenta limitaciones significativas. Según la opinión de los miembros del proyecto y del asesor del servicio social, este diseño no es óptimo, ya que no permite que el usuario colocado en el bipedestador pueda moverse entre diferentes posiciones sin tener que bajarse. Incluso cuando el prototipo no soporta ningún peso, moverlo resulta complicado, es problemático, ya que el objetivo principal es que el paciente pueda permanecer en el dispositivo en todo momento. La dificultad para ajustar las posiciones sin necesidad de descender del bipedestador resulta inconveniente y afecta la eficiencia del tratamiento, por lo que es crucial modificar este sistema para que el paciente esté siempre sujeto al bipedestador, y para que los movimientos entre posiciones se realicen de forma suave y cómoda. En el caso de niños con parálisis cerebral, esta mejora es esencial porque facilita la terapia de bipedestación, que es fundamental para promover el desarrollo de sus músculos y huesos, así como para mejorar su movilidad y calidad de vida. Un dispositivo más funcional y fácil de ajustar permitirá que los niños reciban un tratamiento continuo, seguro y sin interrupciones, optimizando su proceso de rehabilitación, en las Figuras 6 y 7 se muestran los detalles a mejorar del prototipo base.
- **Sujetadores del niño:** Durante la terapia, el usuario permanecerá sujeto al dispositivo por un tiempo prolongado. Actualmente, se utilizan cintas de polipropileno con hebillas como método de contención, a modo de cinturón, en las zonas clave de sujeción. Sin embargo, este sistema no es adecuado, ya que carece de acolchado, lo que puede generar incomodidad o incluso dolor con el uso prolongado entre otras afecciones. Esto es especialmente preocupante, dado que las cintas no solo se emplean en áreas como las rodillas o el pecho, sino también para la cabeza. Este diseño puede resultar un tanto agresivo, sobre todo considerando que el prototipo está pensado para niños. Por lo tanto, es necesario implementar materiales más suaves y cómodos, o proponer alternativas de sujeción que garanticen la seguridad sin comprometer el bienestar del paciente.

- **Mesa de juego:** La mesa está pensada como una zona en la que el paciente pueda desarrollar múltiples habilidades, que van desde comer hasta jugar, por lo que es indispensable que sea lo suficientemente amplia, pero todavía más importante que sea fácilmente removible. El sistema que tiene la mesa actualmente para sujetarse al bipedestador no solo es complicado sino también ineficiente, actualmente se tienen que quitar 4 tornillos en total para acomodar la mesa para que sea utilizada por el paciente, además que de las múltiples veces que se intentó acomodar la mesa de modo que el niño pueda hacer uso de esta, no fue intuitiva e incluso una persona que nunca había tenido contacto con la mesa no pudo colocarla de manera correcta. Evidentemente esto de ninguna manera es lo correcto, incluso si se cuenta con algún manual de uso; es un aparato que no solo podría servir para uso doméstico o escolar sino también para uso en terapias en donde múltiples personas tendrán contacto con el dispositivo y debe ser un uso intuitivo y para nada complicado.
- **Acojinamiento:** Como se habló previamente, el paciente estará colocado en el dispositivo por un largo tiempo y en una investigación relacionada con el proyecto se encontró los peligros que supone un mal selección de cojines, ya que pueden ocasionar úlceras por presión, es por ello que se deberá conducir una investigación para evitar que la nueva propuesta suponga ese riesgo.
- **Otros aspectos:** Hay otros detalles, unos más complicados que otros para mejorar, por ejemplo la selección de un nuevo material para hacer la estructura, hacer un rediseño gradualmente más complicado al agregar la función más funciones globales, sin embargo se esperará a la investigación de los requerimientos para dar una propuesta de solución acorde a los mismos usuarios y a sus familiares.



Figura 6. Vista lateral del Bipedestador base



Figura 6. Vista frontal del bipedestador base

1.5.1 Evaluación del material del prototipo base

No se cuentan con especificaciones detalladas del prototipo desarrollado por el Ing. Rojas, por lo que se manejará el material usado simplemente como madera comercial, si bien el uso de este material brinda varias ventajas de las cuales destaca su bajo precio, su buena relación de resistencia y peso

además de ser sumamente fácil de trabajar al momento de manufacturar una pieza, sin embargo para este tipo de aplicación no es la mejor opción por razones más delicadas las cuales se describirán a continuación:

Porosidad: La madera, al estar compuesta por células vegetales huecas, presenta una estructura porosa, formada por microcanales y cavidades. Esta característica la hace especialmente sensible a los cambios de humedad y a las variaciones del ambiente, ya que tiende a absorber y retener agua. Como consecuencia, el material puede deformarse, hincharse o agrietarse con el tiempo, además, la porosidad favorece el desarrollo de hongos y bacterias, lo cual representa un riesgo sanitario significativo, especialmente en dispositivos que estarán en contacto directo con el usuario, como un bipedestador [20].

Unión estructural limitada: La madera es un material difícil de usar al momento de querer unirlo con otro componente incluso siendo del mismo material, es por ello cuando es utilizado se usa pegamento, tornillos, clavos, componentes de unión de metal normalmente e incluso su corte para que embone a manera de rompecabezas con otra pieza, por lo que al ser considerado para su manufactura, es indispensable que la unión entre componentes sea fácil.

Higiene y mantenimiento: Como se habló previamente, al ser un material poroso y que retiene humedad, es un material difícil de limpiar y mantener en buen estado, su mantenimiento es difícil debido a que se necesitarían barnices o sustancias especiales para evitar su deterioro los cuales elevarían el costo de mantenimiento [20]

Anisotropía del material: El material es difícil de simular mediante software de análisis CAE, ya que su estructura interna anisotrópica complica la representación precisa de sus propiedades mecánicas, ya que la variabilidad natural de la madera depende de la dirección de la fibra, la densidad local y la presencia de defectos hace que la generación de modelos confiables requiera caracterización avanzada y parámetros específicos. Esto incrementa la complejidad del análisis y, en consecuencia, eleva los costos y el tiempo necesarios para validar el diseño mediante simulación [21].

Es por ello por lo que para el rediseño del prototipo se consideraron otros materiales que no cuentan con los problemas anteriormente descritos. Durante las actividades del servicio social, se investigaron muchas soluciones tanto sacadas por el mercado como por trabajos de grado, algo que se repetía en cada solución es el uso de perfiles de metal, ya sea de aleaciones de acero o de aluminio, así que siguiendo esa tendencia se consideraron aleaciones de este tipo, primeramente se realizó una breve investigación para ver que parámetros son importantes a considerar en la elección de un metal para esta aplicación.

1.5.2 Justificación de diseño

Como se ha discutido tanto dentro del equipo como con otros especialistas del área, el diseño actual del bipedestador presenta varias deficiencias. No solo es difícil de manipular incluso cuando no hay un paciente en el dispositivo, sino que también los sujetadores y cojines son incómodos. El uso prolongado de estos materiales puede conducir al desarrollo de úlceras por presión, lo que es inaceptable, especialmente en niños. Por lo tanto, podemos concluir que el prototipo actual no es adecuado para su uso en pediatría, y sus aplicaciones terapéuticas son muy complicadas por su uso. Además, su funcionamiento poco intuitivo añade otra barrera importante.

Todas estas características señalan claramente la necesidad de un rediseño integral, que supera las modificaciones inicialmente previstas. Este rediseño abarcará no solo el mecanismo del dispositivo, sino también una nueva selección de materiales que garantice la comodidad, seguridad y facilidad de uso. Mas adelante en el trabajo, se llevará a cabo un proceso de adquisición de datos con los usuarios para identificar sus necesidades, y se trabajará en soluciones que respondan a esas demandas de manera eficaz y segura.

1.5.3 Selección del tipo de bipedestador

A continuación se elegirá el tipo de bipedestador a diseñar con base en los objetivos del proyecto, por lo tanto, siendo uno de los objetivos mencionados al inicio del proyecto de dar autonomía al usuario que esto impacta fuertemente en el aumento de su confianza y de su participación social. Se decidió diseñar pensando en un bipedestador integrado en una silla de ruedas, con la automatización de la función principal a través de actuadores eléctricos que no repercuta gravemente en el precio del dispositivo.

Las razones por las que se eligió este tipo de bipedestador es que ofrece una opción altamente funcional y segura para niños con parálisis cerebral. Desde un punto de vista práctico, su diseño más sencillo y compacto lo hace ideal para el uso diario, especialmente en entornos escolares o en casa. Facilita la participación social y promueve el desarrollo del equilibrio y la postura, permitiendo que el niño participe activamente en el proceso de levantarse.

En términos médicos, este tipo de bipedestador ayuda a mejorar la circulación sanguínea, reduce el riesgo de contracturas y espasticidad en la parte inferior del cuerpo, y ofrece beneficios moderados para la respiración y la digestión. Además, es menos propenso a causar hipotensión postural, lo que lo hace más seguro para transiciones frecuentes.

Sin embargo aquí hay algunas limitantes del proyecto en cuestión que es necesario declarar para tenerlas en consideración:

- Normalmente, se requiere algo de fuerza en la parte superior del cuerpo para operar los controles manuales o ajustar los soportes.
- Los usuarios deben tener la capacidad cognitiva para comprender y operar los controles de la silla de ruedas de pie.
- Es necesaria una estabilidad postural adecuada para realizar una transición segura y mantener una posición de pie.

2. Diseño conceptual

2.1 Requerimientos

A partir de las entrevistas realizadas por el grupo del proyecto CAPSEM I+DT, se identificaron los requerimientos de los usuarios para el proyecto a través de sus verbalizaciones, de manera general se identificó lo siguiente.

Acorde a lo leído se requiere que el usuario pueda caminar o estar de pie y un dispositivo que pueda usarse en la escuela, que logre que tenga más autonomía, tienen dificultad para estar parados, puede ser una silla no muy grande y transportable ya sea para transporte público o que quepa con facilidad en la cajuela, los usuarios tienen dificultad del agarre fino de la mano por lo que no solo los controles de movimientos deben ser sencillos, sino también los sistemas de ajuste al dispositivo que puedan hacerse con una sola mano y sin necesidad de herramientas, algo que sea fácil de doblar e incluso que sea desmontable en un par de piezas para su mejor portabilidad, que el usuario este bien sujeto al dispositivo y que sea y se vea seguro.

Para mantener la postura, las áreas del cuerpo que pueden soportar carga incluyen las plantas de los pies, las rodillas, la cadera y los antebrazos, principalmente sostener el tronco, se pueden utilizar sistemas de sujeción, cuidando maximizar el área de contacto para evitar puntos de presión. La cabeza no debe fijarse, se puede utilizar una inclinación en el respaldo para que la cabeza caiga hacia atrás por gravedad y utilizar un sistema para evitar que la cabeza quede con inclinación lateral. Se debe pensar en cómo se realizará el calce del dispositivo a la talla del niño, cómo se estabilizará antes de utilizarse, cómo se colocará y retirará el sujeto, además de la limpieza y guardado del sistema.

De lo anterior, en la Tabla 2 se muestran los requerimientos generales observados:

Enunciado	Requerimiento analizado
<i>El usuario pueda caminar, o estar de pie</i>	Algún dispositivo que ayude al usuario al estar en una posición bípeda con ayuda
<i>Un dispositivo que pueda usarse en la escuela, que logre que tenga más autonomía</i>	El dispositivo debe estar diseñado para acoplarse a un aula estudiantil con mesa de trabajo y recorrer el patio de la escuela por sí solo u otros ambientes
<i>Tienen dificultad para estar parados, puede ser una silla no muy grande y transportable ya sea para transporte público o que quepa con facilidad en la cajuela</i>	La silla debe de tener un mecanismo que permita la bipedestación lo más compacto que se pueda incluso en espacios reducidos
<i>Los usuarios tienen dificultad del agarre fino de la mano</i>	Controles intuitivos y fácilmente manipulables por el usuario y terceros, incluyendo mecanismos de sujeción y sin uso de herramientas
<i>Algo que sea fácil de transportar en transporte público o en la cajuela</i>	Un dispositivo de poco volumen que sea transportable y de preferencia desmontable
<i>principalmente sostener el tronco, se pueden utilizar sistemas de sujeción, cuidando maximizar el área de contacto para evitar puntos de presión</i>	El sistema de sujeción debe estar presente en zonas que permitan tolerar carga o en zonas amplias para que se distribuya mejor la presión sin comprometer la comodidad
<i>La cabeza no debe fijarse, se puede utilizar una inclinación en el respaldo para que la cabeza caiga hacia atrás por gravedad y utilizar un sistema para evitar que la cabeza quede con inclinación lateral</i>	Debe de contar con un aditamento que pueda sostener su cabeza, cuidando que no se incline lateralmente y en donde la cabeza por naturaleza pueda reposar dejando caer la cabeza hacia atrás en el aparato
<i>Se debe pensar en cómo se realizará el calce del dispositivo a la talla del niño</i>	El dispositivo debe de tener un sistema de ajuste de estaturas, para asegurar que durante el recorrido el usuario este lo más cómodo posible.
<i>Cómo se estabilizará antes de utilizarse, cómo se colocará y retirará el sujeto</i>	El usuario debe de quedar fijo a la silla en donde no se resbale ni se caiga de ella por ningún movimiento, se debe de pensar que su colocación sea fácil así como se piensa retirar del dispositivo.
<i>Se debe de considerar limpieza y guardado del sistema y que se vea seguro y se desplace lento.</i>	Materiales resistentes que aseguren su robustez, y su posterior mantenimiento

Tabla 2. Requerimientos obtenidos

En donde de los requerimientos obtenidos de los usuarios, se redacta una matriz QFD en donde nos dice de manera general el peso relativo al que se le está considerando, ponderando su importancia a lo largo del proyecto. Debido a que algunas especificaciones tienen similitud entre sí se ilustra una matriz simplificada en la Tabla 3.

Requerimientos Filtrados del Bipedestador

	Importancia	Peso relativo [%]
Bipedestación natural y autonomía	10	15.2
Ajuste de estaturas	9	13.6
Compatibilidad con entorno escolar	4	6.1
Controles fáciles, intuitivos y sin herramienta	7	10.6
Volumen reducido y/o desmontable	6	9.1
Ergonomía y seguridad	11	16.7
Robustez	3	4.5
Limpieza y mantenimiento	5	7.6
Peso y volumen	8	12.1
Precio	1	1.5
Fácil colocación y remoción	2	3.0

Tabla 3. Valoración de requerimientos

Los parámetros y su importancia fueron dados por los integrantes del equipo, a continuación una breve descripción de ellos:

Bipedestación natural y autonomía

Se diseñará un mecanismo que ayude al usuario a pasar de una posición sentada a una bípeda, en donde este automatizado para que la persona no le cueste ningún trabajo realizar la actividad.

Sistema de ajuste de estaturas

Considerando la diferencia de longitudes corporales que existen a esa edad, es importante que el dispositivo pueda calzar a diferentes estaturas, por lo que se implementará un método para lograrlo.

Compatibilidad con el entorno escolar

Al ver que los usuarios lo comentan y principalmente considerando la importancia de la escuela en esas edades, se pretende acoplar los componentes necesarios para poder usarse en ese entorno sin mayor preocupación o modificación.

Controles fáciles, intuitivos y sin uso de herramienta

Unas de las cuestiones no solo para el usuario final, sino para familiares o terceras personas que tengan contacto con el dispositivo, es que sin necesidad de un extenso y complicado manual de usuario, se pueda entender con observar las piezas, como se acoplan, en donde se pretende que no sea necesario el uso de agarre fino para cuestiones de sujeción, o manipulación de aditamentos logrando hacerlos con una mano en el mayor de los casos.

Volumen reducido y/o desmontable

Al necesitar que sea portátil, se requiere que pueda transportar en espacios reducidos, como en una cajuela de volumen estándar, o incluso en transporte público, por lo que para lograrlo la desmontabilidad o plegabilidad pueden ayudar a conseguirlo.

Ergonomía

Aquellos complementos que ayuden a la comodidad del usuario durante el uso del dispositivo, evitando provocar úlceras por presión

Robustez

Asegurar que el ensamble del dispositivo pueda soportar al usuario sin mayor problema, en donde incluso en caso de algún pormenor, el dispositivo siga funcionando en su función principal.

Limpieza y mantenimiento

Debido a que el dispositivo va a ser usado de manera muy recurrente, se pretende usar materiales que no acumulen humedad (en caso de que lo hagan que puedan ser retirados sin complicación para su lavado), o que sean porosos para evitar el crecimiento de focos de infección y enfermar al usuario. Además de diseñar con base en materiales de uso comercial en caso de imprevistos poder cambiarlos sin mayor problema y con alta disponibilidad.

Peso y volumen

Reducir en la mayor medida posible el peso y volumen del dispositivo sin comprometer gravemente su integridad estructural o funcionamiento.

Precio

A pesar de no tener una restricción clara de los usuarios en cuanto al precio, por cuestiones de asequibilidad se intentará obtener el menor precio posible en cuanto a componentes y materiales.

Fácil colocación y remoción

Que el usuario sin necesidad del agarre fino pueda colocarse en el bipedestador, salir del bipedestador y hacer uso de las sujeciones sin dificultad.

2.2 Especificaciones

A continuación en la Tabla 4 se presentan las especificaciones que se podrían tomar en cuenta para el desarrollo mecatrónico del dispositivo a elaborar

Puntos técnicos a considerar para el bipedestador

	Unidad referida a la propiedad
Número de componentes	#
Volumen	m^3
Peso del dispositivo	Kg
Peso del usuario	Kg
Densidad	Kg/m^3
Inclinación de la cabeza	Grados °
Ángulo de volteo	Grados °
Medidas antropométricas del usuario	mm
Longitud de las piezas	mm
Tolerancias	mm
Deformación	mm
Velocidad de los actuadores	RPM ó mm/s

Par del actuador	N*m
Fuerzas aplicadas (estáticas)	N
Módulo de Young	E
Resistencia a la fluencia	σ_y
Velocidad de bipedestación	mm/s
Rugosidad	μm
Presión de compresión	Pa
Voltaje de batería	V
Voltaje de aparatos de instrumentación	V
Numero de sujeciones al usuario	#

Tabla 4. Unidades de Especificaciones

Acorde al QFD realizado que se encuentra en el apartado de *Anexos*, se estableció que para que una especificación se pudiera tomar en cuenta, debe de tener una calificación mayor o igual a 4.8 de la importancia relativa, a continuación en la Tabla 5 se presenta lo obtenido:

Especificaciones de diseño para el bipedestador

	Unidades
Longitud de la pieza	Dimensiones dadas acorde al rango de edad establecido [mm]
Tolerancias	Establecidas en los planos del dispositivo [mm]
Volumen	Acorde a las cajuelas de los 5 autos más utilizados en México 519[L] ó .519[m ³]
Peso del dispositivo	Menor o igual a 35 [kg]
Número de componentes	Número de piezas desmontables establecerlo en menor o igual a 4 [#]
Número de sujeciones	El máximo de puntos de sujeción va a ser 6
Velocidad de bipedestación	Considerando el rango total que va a tener el dispositivo (0°-90°) de 7.5[mm/s] a 15[mm/s] dependiendo de la altura del usuario

Fuerzas aplicadas	Aplicadas en puntos clave de presión durante bipedestación al dispositivo en [N] con un factor de seguridad de $2 < f_s < 5$ [22]
--------------------------	---

Tabla 5. Descripción de las especificaciones

2.3 Análisis funcional

Este enfoque proporciona una manera estructurada de analizar las funciones esenciales de un sistema y determinar el nivel adecuado en el que debe abordarse el problema, las funciones esenciales se refieren a aquellas características fundamentales que el dispositivo debe cumplir para su correcto desempeño, sin importar qué componentes físicos específicos se utilicen en su implementación. El dispositivo en conjunto deberá poder cumplir con este mínimo de funciones sin complicaciones:

- Levantar.
- Soportar.
- Desplazar.
- Sujetar.
- Ajustar.

Al sumar cada una de las funciones se logrará el objetivo global, el cuál es lograr que el usuario este en una postura bípeda, al descomponer cada una de las funciones secundarias, es posible ver su interacción entre ellas y visualizar como logran cumplir con la función global, a continuación en la Figura 7 se hace uso del diagrama funcional para poder analizar la interacción entre funciones y ver como es el resultado que se ha construido hasta el momento con sus entradas y salidas

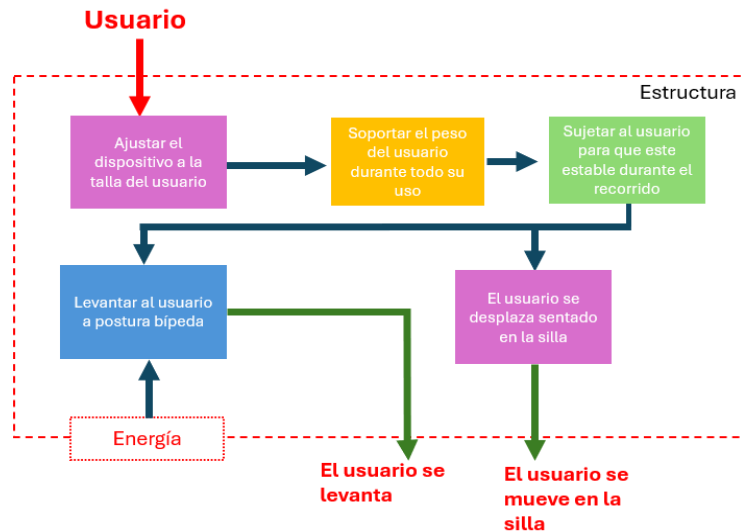


Figura 7. Diagrama funcional

Observaciones: Para el correcto uso del dispositivo, es necesario hacer una evaluación del usuario, para estimar si existen contracturas y en el caso de existir reprogramar el dispositivo para establecer límites de bipedestación para evitar lastimar al usuario o en caso extremo de contractura no se recomienda el uso del dispositivo.

Otros temas de evaluación para conseguir cumplir el objetivo de brindar autonomía al usuario, es verificar la capacidad de percepción del usuario, ver si entiende la causa y efecto de una determinada acción, con el propósito de otorgarle al usuario el control que se hará cargo de su bipedestación, de resultar pruebas inconclusas, el control será únicamente para uso de los tutores o terapeutas.

2.4 Definición del concepto

Como se habló anteriormente, el diseño del bipedestador automatizado se basa en un modelo previo desarrollado por el Ing. Gustavo Rojas Coca, el cual fue sometido a un análisis detallado para identificar sus fortalezas y áreas de mejora. A partir de este estudio, se propuso un rediseño integral, que incorpora características adicionales alineadas con los requerimientos establecidos.

Debido a que son muchas áreas de trabajo del proyecto y dado a que se quiere llevar un orden y una bitácora detallada de cada proceso, se decidió dividir el proyecto en subsistemas, por lo que a continuación se detallarán los subsistemas creados y las tareas que realizarán en el proyecto.

1. Estructura.

Constituye el soporte principal del bipedestador, siendo responsable de proporcionar estabilidad y resistencia tanto del peso del usuario como a los mecanismos funcionales del sistema. Se enfoca en

el diseño y análisis de la plataforma base, integración de llantas, compatibilidad con los mecanismos propuestos y componentes.

El sistema se encargará del diseño de la plataforma principal y puntos de acoplamiento estructural, integración y sujeción de llantas y mecanismos funcionales, selección de materiales resistentes, ligeros y de grado médico, análisis estático y de resistencia, además del diseño en CAD paramétrico.

Características principales:

- Material ligero pero resistente (grado médico, alta tolerancia a la fatiga).
- Peso máximo de 35 kg, permitiendo movilidad sin comprometer estabilidad.
- Diseño modular con tolerancias ajustadas para adaptaciones futuras según el usuario.

2. Mecanismos

Este subsistema se encargará del diseño e implementación de las piezas necesarias para llevar al usuario de una posición de sedestación a una bípeda junto con el sistema de ajuste de estaturas en el rango previamente declarado además de priorizar su diseño compacto, plegable y portátil, mediante el uso de software especializado como *SolidWorks* y se probarán su resistencia en un estudio estructural en el mismo software.

Características principales:

- Mecanismo de bloqueo ajustable para diferentes medidas antropométricas.
- Movimientos controlados para una transición suave de sedestación a bipedestación.
- Componentes desmontables o plegables para facilitar su transporte y almacenamiento.
- Mecanismo robusto que garantice la seguridad del usuario en cada postura.

3. Seguridad y confort (componentes auxiliares)

El subsistema abarca los periféricos y aditamentos adicionales que garantizan la comodidad, seguridad y usabilidad del dispositivo, será encargado de seleccionar o incluso de diseñar las mejores ruedas para que sean funcionales, diseñar una mesa de juegos en donde el usuario podrá jugar estando en el dispositivo, y seleccionar el diseño de las cuerdas de sujeción que brinden el mejor confort al usuario, en donde está pensado no solo hacer la vida del usuario más cómoda sino también pensar en terceras personas que vayan a interactuar al usuario y hacerlo intuitivo y que sea fácil la limpieza de los aditamentos así como su remoción del dispositivo.

Características principales:

- Sujetadores de tela amplios, acolchonados y lisos para el usuario, con materiales medianamente densos y que den un buen soporte para la presión a la que estarán sometidos.
- Sistema de amarre manejable con una sola mano.
- Sistema de llantas que otorguen autonomía al usuario.
- Respaldo para la cabeza con apoyos regulables para evitar inclinaciones laterales.
- Mesa de juego de material fácil de limpiar, resistente a la humedad y con bordes seguros

4. Electrónica y Automatización

El subsistema se encargará de seleccionar los actuadores eléctricos adecuados para la tarea de bipedestación y proponer la electrónica necesaria para cumplir con los requisitos del proyecto lo cual involucra la interfaz adecuada para control del usuario. Debido a los alcances del proyecto, como puntos de mejora para una siguiente iteración se podría seleccionar una batería segura para el usuario y el sistema de potencia para garantizar el suministro adecuado de energía.

Características deseadas:

- Actuador robusto.
- Interfaz intuitiva, de fácil manipulación para el usuario y/o cuidador.
- Componentes electrónicos básicos que garanticen la seguridad del usuario.

2.5 Limitaciones del concepto

Hay que tomar en cuenta el tipo de proceso que se va a llevar a cabo con el bipedestador, en donde el usuario partirá de una postura de sedestación a una bípeda, en donde están involucrados músculos, articulaciones, tendones y varias partes del cuerpo humano, es por ello por lo que hay que analizar y saber las restricciones motrices, y hacer un análisis más enfocado a lo biomecánico para poder entender y proponer una solución.

Se encontró un estudio [23] donde analizan y clasifican las fases de bipedestación, debido a que solo se enfocan en los músculos aplicados la tomaremos en cuenta, el proceso se basa en 3 fases, en la Figura 8 se puede apreciar mejor el proceso.

I. Transferencia de peso:

Se caracteriza por una flexión de tronco y pelvis provocando un desplazamiento hacia delante del centro de gravedad. La musculatura de la espalda hace un trabajo excéntrico para controlar la flexión de tronco que se realiza.

- II. **Transición:** Durante esta fase, se busca alcanzar una postura erguida, en donde los músculos cuádriceps, glúteos y erectores de la columna trabajan en conjunto para extender el tronco, la cadera y las rodillas, la musculatura finalmente adquiere un papel más relevante, contribuyendo al control de la extensión del tronco y proporcionando estabilidad a la pelvis.
- III. **Elevación:** En esta etapa, todos los músculos de la parte anterior del cuerpo se activan y coordinan su esfuerzo para mantener el centro de equilibrio dentro de la base de sustentación.

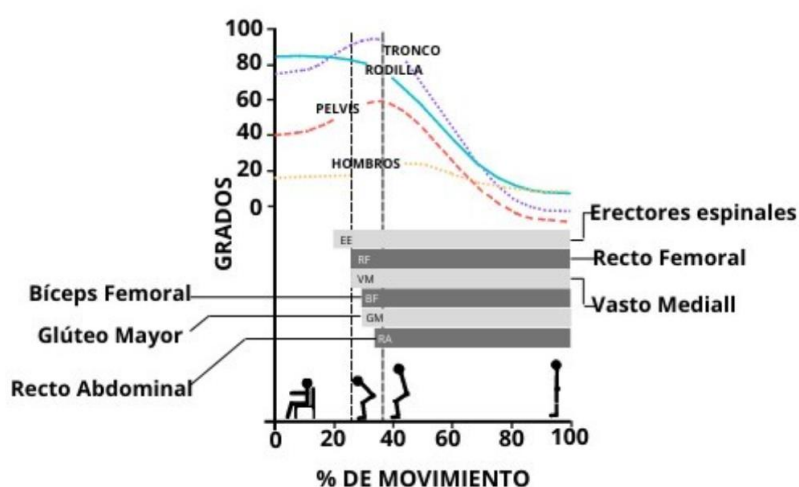


Figura 8. Fases de la bipedestación

Como podemos apreciar de la investigación encontrada [24], las articulaciones que tienen impacto son la cadera, la rodilla por lo que se enfocará sus rangos de movimiento, en la Tabla 6 se aprecia los límites.

Articulación	Grados de libertad	Flexión-extensión	Rotación longitudinal	Aducción-Abducción
Cadera	3	-20° a 120°	-30° a 60°	-30° a 60°
Rodilla	1	-160° a 0°	-35° a 45°	-----

Tabla 6. Limitaciones de las articulaciones en uso

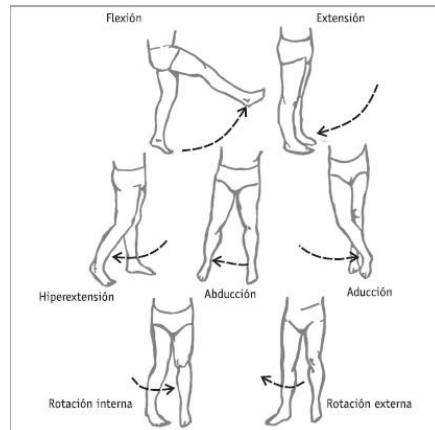


Figura 9. Movimientos del tren inferior [25]

2.6 Descripción del concepto

Al realizar el análisis funcional y las limitaciones motrices de la biomecánica humana, es momento de poder generar propuestas de solución, en donde a partir de las funciones principales (soportar, sujetas y mover) se van a generar bocetos y a través de un código de colores se le asignará la zona en donde se cumplirá la función en el cuerpo del usuario. Debido a que estas son las cuales tienen contacto directo con el usuario y las otras dos funciones (desplazar y ajustar) se podrán trabajar en ellas una vez que se tenga considerado una opción ganadora.

Se concentrará en la función de sujetar ya que es la más visual para este acercamiento, y la función de soportar y levantar dependerá de los diseños que más adelante se mostrarán, en la Tabla 7 se muestra el código de colores en donde las funciones tendrán impacto en el usuario.

SOPORTAR

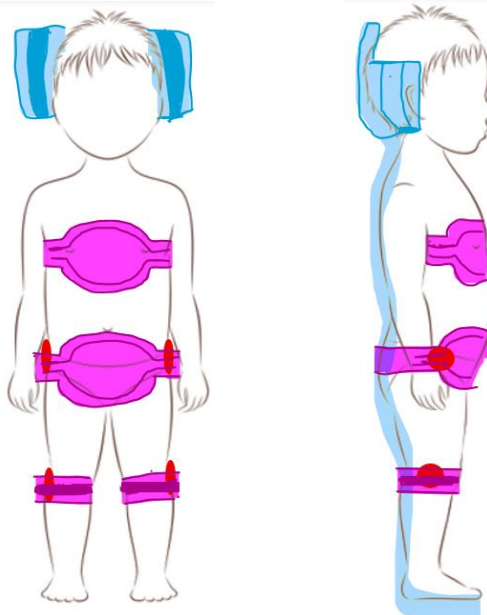
SUJETAR

LEVANTAR*MOVER*

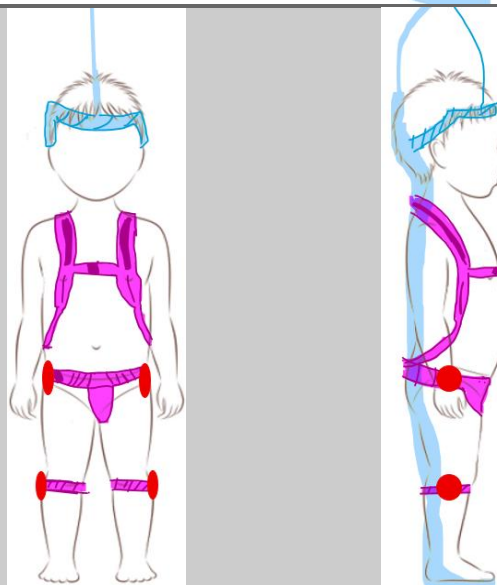


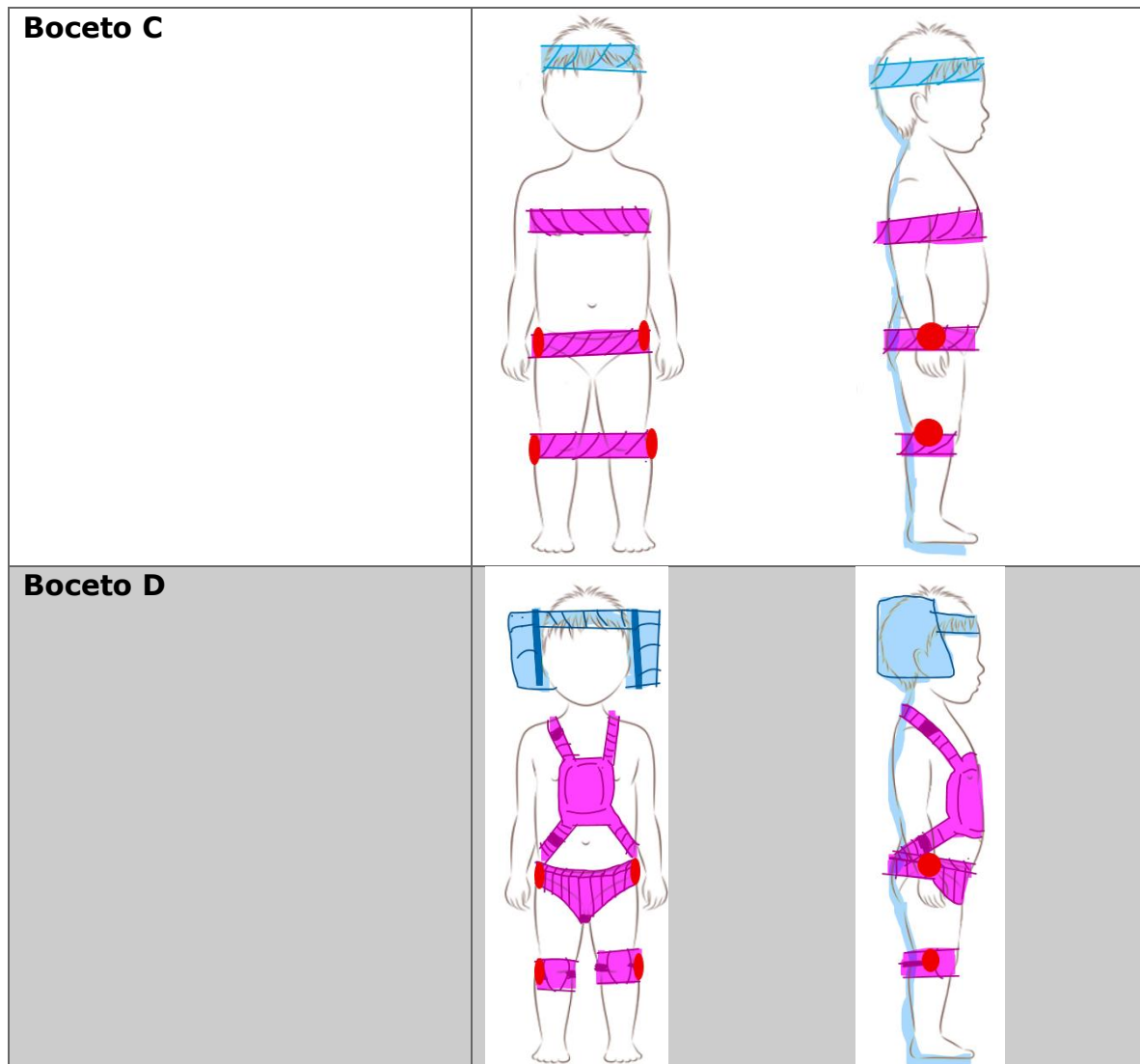
Tabla 7. Código de colores de las funciones

Boceto A



Boceto B





Si bien las posturas de referencia son tomadas de un niño sano [26], solo son de referencia para visualizar de mejor manera la posición ideal a la que estaría el usuario. A continuación se presentarán dos matrices de decisión para poder seleccionar una opción ganadora, en donde en la primera matriz se comparan los bocetos contra la función de soportar y sujetar, las demás funciones se dejarán fuera debido a que ya se tendría que tener una propuesta de tanto tipo de actuadores como del mecanismo bipedestador, o incluso la forma de la estructura en general y la forma de la silla que soportará al usuario, estos detalles se concretarán en diseño de configuración en donde se tendrán propuestas más concisas acorde a lo ganador en esta sección junto con otros parámetros de importancia en el proyecto.

Los parámetros a considerar ya que solo vamos a tomar dos funciones para evaluar serán mayor zona de contacto, menor número de sujetadores (debido a que será más fácil para algún usuario tener que lidiar con menos broches o hebillas), zonas que pueden tolerar presión, se evaluará del 1-5 siendo 5

el que presente mejor esa cualidad y 1 el que menos. Los integrantes del equipo y el asesor del servicio social lo calificamos y en la Tabla 8 se muestran los resultados.

Parámetros Bocetos	Mayor área de contacto	Menor # de sujetadores	Mejor zona para aplicar presión	Resultados
A	4	3	3	3.3333
B	3	4	1	2.6667
C	2	4	3	3
D	5	4	4	4.333

Tabla 8. Valoración de los conceptos con parámetros de interés

De la primera matriz de decisión podemos observar que el boceto D presenta una mejor opción acorde los parámetros evaluados, a continuación se presentará una segunda matriz pero alineada con los requerimientos obtenidos que tienen que ver con las funciones de sujetar, y soportar debido a que las demás funciones serán exploradas en la parte de diseño de configuración, para la evaluación se tomó en cuenta la misma ponderación que la matriz anterior en la Tabla 9 se aprecian los resultados.

Requerimientos	Bocetos			
	A	B	C	D
Ergonomía y seguridad	1	4	2	5
Fácil colocación y remoción	2	4	1	4
Limpieza y mantenimiento	1	2	4	3
Calificación	1.333	3.333	2.333	3.6667

Tabla 9. Valoración de conceptos contra los requerimientos

De igual manera podemos observar que el boceto D resulto la ganadora donde la calificación fue el promedio de las calificaciones individuales de cada concepto, siendo la que se tomará de base para el diseño de configuración, se puede apreciar en el concepto que es la que más área abarca en el cuerpo del usuario, donde tiene la mejor relación de número de sujetadores y la ergonomía que otorga, logrando estar en zonas que puedan tolerar cierta carga sin repercutir en el movimiento que se realizará a la hora de la bipedestación.

La forma tipo chaleco para sujetar la zona superior, hace que sea más cómodo y fácil de ponerse o quitarse, teniendo menos hebillas que fácilmente lo podrá hacer el usuario sin ninguna complicación y de la zona inferior sujetar de las rodillas sin limitar o restringir mucho la movilidad de las piernas logra que el usuario no se sienta ansioso al no restringir mucho los grados de libertad de su pierna para poder acomodarse solo durante el proceso como el sienta mejor.

2.7 Diseño de configuración

Una vez ya seleccionando el boceto más general, ya podemos empezar a generar soluciones, en donde para no sobresaturar y diferenciar de mejor manera las diferencias entre cada opción, se propondrán dos configuraciones, integrando los elementos que se logren diferenciar entre sí y que cumplen sin ninguna falla las funciones globales, se decidirá la propuesta ganadora con base en una matriz de decisión en donde se verificará que cumpla con los requerimientos obtenidos y se asignará una calificación de 1-10 en cada rubro acorde a la opinión de los integrantes del proyecto, y el ganador será el que tenga mejor promedio entre los dos, siendo el precio el único requerimiento que se omitirá ya que todavía no se cuenta con una cotización de los elementos o de algo más específico para poder determinar esto y al incluirlo será de manera subjetiva, cosa que no se desea.

A continuación se presentarán un par de bocetos de las dos opciones de diseño, en donde grosso modo se expondrá su funcionamiento así como de sus demás aditamentos.

2.7.1 Configuración A

Descripción: A continuación se muestra la silla bipedestadora en dos estados, los cuáles forman el inicio y el final al cual está diseñado que llegará el nivel de bipedestación, para hacer más ordenado la descripción del boceto se abordará acorde a los subsistemas que se dividió el proyecto, el diseño esta enfocado a la seguridad del usuario

Estructura: Diseñada considerando usar perfiles de acero o aluminio comerciales, en donde se intenta usar el menor material posible para garantizar su bajo peso sin descuidar la parte de seguridad, pensada para soportar el peso del usuario en todo el uso de la silla, así como pensada para acoplar los mecanismos de bipedestación o de ajuste de estatura, así como otros aditamentos como las ruedas.

Mecanismos: Diseño sencillo pero práctico para bipedestar a una persona, en donde se intenta imitar lo más parecido a una bipedestación natural con ayuda del mecanismo, con sistemas de ajuste de estatura para los tramos de cadera-rodilla y rodilla-tobillo, para garantizar la mayor ergonomía durante el uso del dispositivo.

Seguridad y Confort: Contempla sujetador de pecho de 5 puntos para garantizar que se quede en la posición deseada durante su uso, para que tanto no se resbale del asiento como no se ladee, unos sujetadores de rodillas los cuales ayudarán con la estabilización del usuario así como un reposa pies en donde no se queda totalmente fijo sino con cierto grado de libertad para comodidad del usuario, además de incorporar una mesa de juegos de fácil uso y se guarda al final de su uso en el respaldo de la silla. También incorpora ruedas con aros propulsores para que el usuario pueda avanzar por sí mismo y otorgarle más autonomía, a continuación en la Figura 10 y 11 se aprecian las configuraciones.

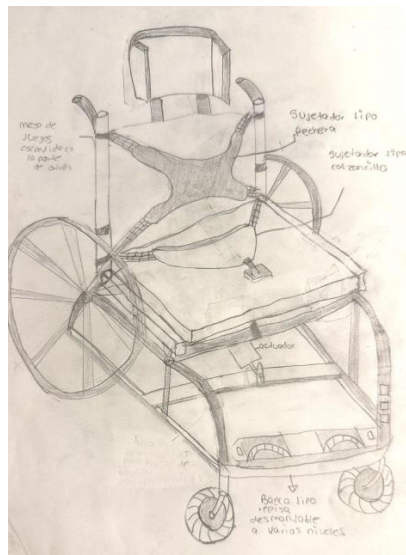


Figura 10. Vista isométrica de la configuración A

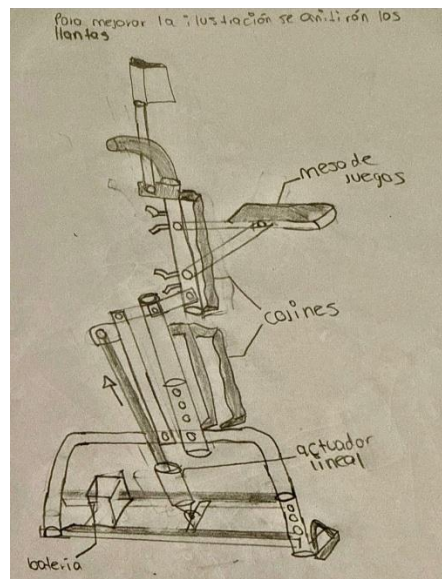


Figura 11. Vista lateral de la configuración A

2.7.2 Configuración B

Descripción: Para esta configuración se usó otro enfoque, mientras el primero se enfocó en un diseño robusto para la seguridad del usuario, este tuvo el objetivo del mínimo del material necesario para su correcto uso, en las Figuras 12 y 13 se aprecia la configuración B.

Estructura: La estructura es simple, considerando solo una plataforma en forma de H en donde estará colocado el actuador y la batería, también incorpora 4 columnas unidas por tubos para soportar tanto el mecanismo bidepestandor como agregar el espacio donde se colocará las ruedas tanto traseras como delanteras.

Mecanismos: El principio de bipedestación es básicamente el mismo, haciendo uso de un actuador línea, y un mecanismo tipo bisagra para juntar el asiento y el respaldo, logrando ser muy ligero y fácil de levantar.

Seguridad y confort: Tiene un reposacabezas con menos área para permitir menor peso, los descansa brazos tienen doble propósito ya que está pensado para poder acoplar la mesa de juego entre ellos con algún mecanismo que permita la inserción, los soportes al usuario siguen siendo los mismos por lo que se omitieron para limpiar el boceto. De igual manera este diseño incorpora unas ruedas con aros propulsores.

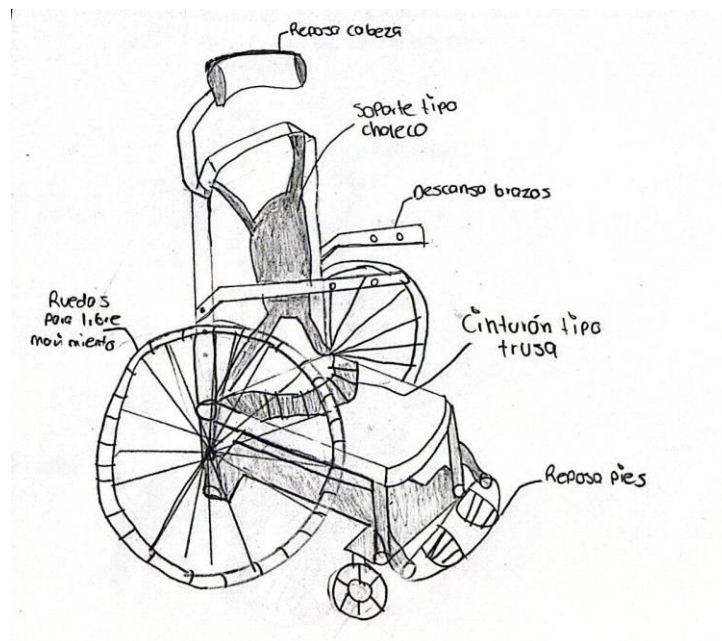


Figura 12. Vista isométrica de la configuración B

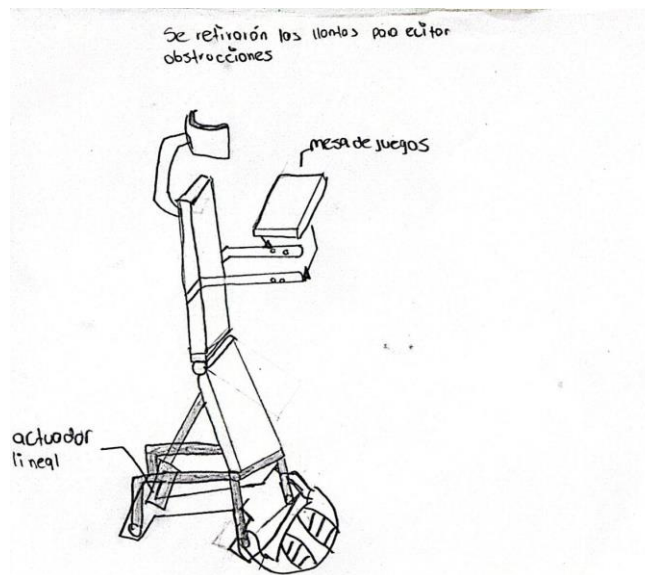


Figura 13. Vista lateral de la configuración B

2.8 Evaluación de las opciones

Como se explicó previamente, se calificará los bocetos acordes a los requerimientos obtenidos en la parte superior del documento, esto con el propósito de cumplir con los puntos que son de más interés para el usuario, en donde los miembros del equipo votamos por la calificación en cada uno de los rubros siguientes para obtener la configuración ganadora la cuál pasará a etapa de diseño en CAD y a posteriores etapas de diseño, en la Tabla 10 se muestran los resultados.

Requerimientos	Bocetos	
	A	B
Ajuste de estaturas	8	10
Ergonomía y seguridad	8	9
Fácil colocación y remoción	9	9
Limpieza y mantenimiento	7	9
Calificación	8	9.25

Tabla 10. Valoración de las configuraciones contra los requerimientos

Como se puede apreciar la configuración B fue la que mejor cumple con los requerimientos y es por ello por lo que es la que se llevará esta idea al proceso de diseño mecánico para finalizar con su depuración en CAD.

3. Diseño mecánico

Al crear un dispositivo que interactuará directamente con un ser humano, es fundamental considerar una serie de parámetros que garanticen un diseño seguro, funcional y ergonómico. El movimiento generado por el dispositivo debe ser totalmente compatible con la biomecánica humana, especialmente cuando está dirigido a usuarios con limitaciones motoras, como lo son los niños con parálisis cerebral, cuyos rangos de movimiento, tono muscular y tolerancia a cargas pueden diferir significativamente de los de un usuario común.

Durante el proceso de diseño, cada componente incluyendo sensores, actuadores y elementos estructurales debe dimensionarse conforme a las capacidades físicas del usuario, tomando en cuenta tanto su fuerza máxima como su sensibilidad, velocidad de respuesta y posibles patrones de espasticidad y otras afecciones. Además, el sistema debe concebirse de manera integral; es decir, no como la simple suma de subsistemas aislados, sino como un conjunto cohesionado en donde la mecánica, la electrónica, el control y la interfaz con el usuario a la par.

3.1 Parámetros de diseño

Para lograr un buen diseño mecánico, resulta indispensable atender una serie de parámetros de diseño que permitan definir los criterios estructurales, funcionales y de operación del dispositivo. Estos parámetros establecen las condiciones que debe cumplir el sistema para garantizar un funcionamiento adecuado, seguro y confiable durante su uso.

3.1.1 Cálculo de carga a mover

Dado que el propósito de la silla bipedestadora es elevar al usuario desde la posición de sedestación hasta una posición bípeda, es fundamental conocer la carga que el mecanismo deberá mover. Aunque la estructura de la silla esté fabricada con un material rígido como el metal, la mayor parte de la carga proviene del propio usuario. Por ello, es indispensable definir desde el inicio el rango de peso de los usuarios contemplados en el proyecto. En este caso, se tomará como referencia el peso máximo correspondiente a niños de 9 años, edad previamente establecida para este diseño. Esta estimación se realizará con apoyo de curvas de crecimiento y peso [9], con el fin de obtener un valor lo más aproximado posible, en las Figuras 14 y 15 se muestran las gráficas.

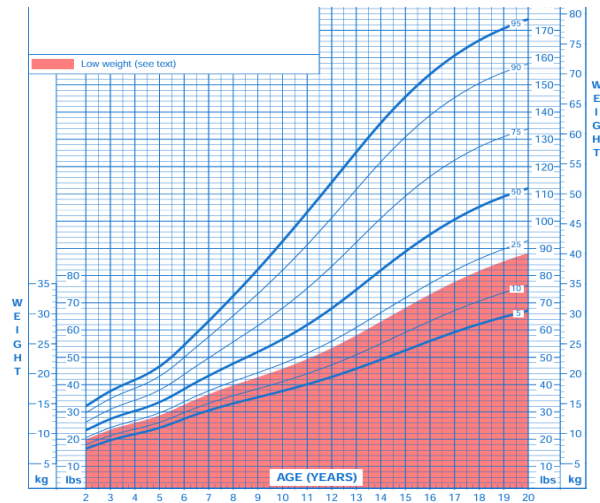


Figura 14. Curvas de peso del rango de edad de interés en niños

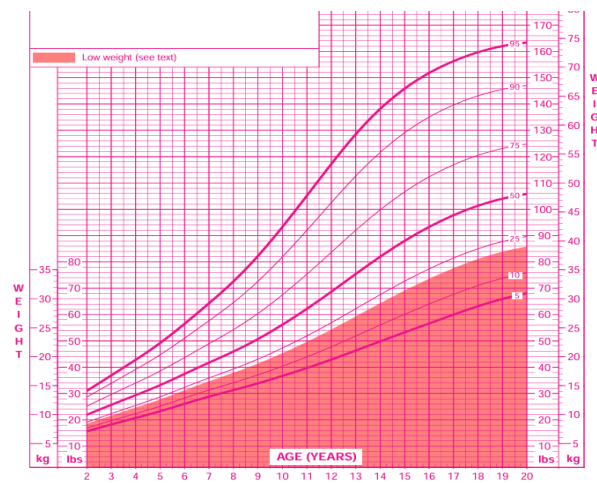


Figura 15. Curvas de peso del rango de edad de interés en niñas

Al ser gráficos realizados a la población de niños con parálisis cerebral de estados unidos y considerando la diferencia de pesos y estaturas entre nuestro país y de EUA, se tomará el percentil 50 como el más aproximado para el propósito de este proyecto, y obteniendo nuestro límite superior siendo del gráfico de niñas con el peso de 60 [lb] o 27.2155[kg], a esto sumándole el peso del mecanismo, asiento y demás accesorios que lo limitaremos a 13 [kg] máximo por el momento siendo la carga total a cargar de 38 [kg]

3.1.2 Ergonomía y medidas antropométricas

Al ser un dispositivo con una interacción directa con el cuerpo del usuario, es imprescindible que cuente con un buen acolchonamiento, ya que también este sector de la población es muy vulnerable a úlceras por presión, en donde nuestra tarea como diseñadores es brindar total comodidad en todo el uso del aparato, entre las opciones que se investigaron durante el servicio social van desde cojines rellenos con semillas hasta opciones más caras con cojines de gel para evitar cualquier punto de presión, claro la diferencia radica en el costo pero ya va más dirigido al presupuesto del usuario.

Las medidas nos permitirán diseñar de forma adecuada para el rango de edad establecido al inicio del proyecto, enfocándonos principalmente en la estructura de la silla o asiento donde se ubicará el usuario. Se considerará un ajuste ligero en altura para mejorar la comodidad. Dado que este sector de la población presenta, en general, dimensiones corporales menores, se utilizará el percentil 50 como referencia para las medidas antropométricas [27], las cuales se implementarán mediante diseño asistido por computadora.

El análisis contempla los valores medios, aumentos estimados en valor absoluto y relativo (porcentaje), así como los percentiles 50 (mediana) correspondientes a cada edad. Las mediciones muestran un crecimiento proporcional y sostenido en casi todas las dimensiones corporales [27]. Las diferencias entre los valores a los 5 y 9 años reflejan un patrón esperable en la infancia media, donde la velocidad de crecimiento sigue siendo significativa, aunque más moderada que en los primeros años de vida, para referencia, en la Figura 16 se muestran las medidas utilizadas.

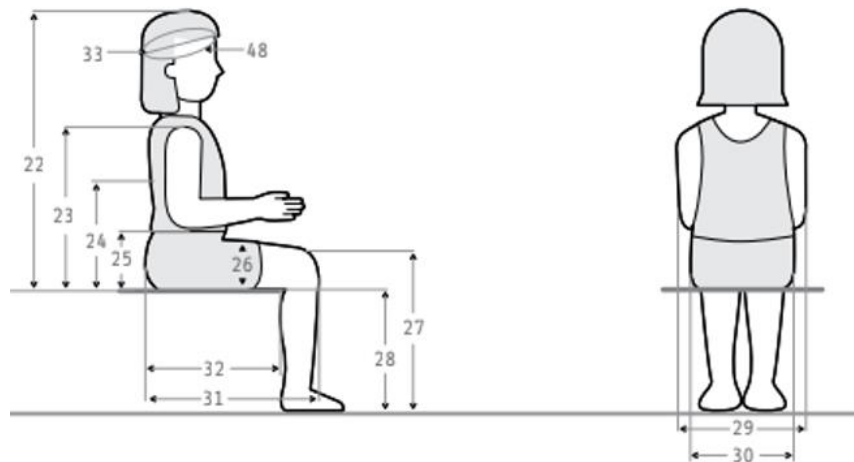


Figura 16. Medidas segmentadas [27]

Para referencia del análisis, para el diseño de la silla bipedestadora, se tomaron en cuenta las medidas 22(altura normal sentado), 23(altura hombro sentado) ,28(altura poplítea) ,30(anchura cadera sentado) y 32(longitud nalga-rodilla), su análisis se ve reflejado en la Tabla 11.

Tabla de medidas en Posición Sentada

Medidas segmentadas	Niñas			Niños		
	Medidas a los 5 años[mm]	Medidas a los 9 años [mm]	Rango necesario [mm]	Medidas a los 5 años [mm]	Medidas a los 9 años [mm]	Rango necesario [mm]
22	599	694	95.00	605	697	92.00
23	360	438	78.00	365	435	70.00
28	281	344	63.00	280	348	68.00
30	222	270	48.00	227	267	40.00
32	297	389	92.00	292	369	77.00

Tabla 11. Medidas segmentadas de interés del rango deseado

En la tabla 11 podemos apreciar el rango ajuste de talla que se debería cubrir, sin embargo cubrir todos o la mayoría de estas medidas representa una dificultad para el diseño en CAD, es por ello que dentro de las posibilidades de diseño, se buscará la mejor alternativa para cubrir este ajuste de talla sin hacer que el diseño sea más complejo, aumentando los costos de manufactura. Para el diseño mecánico en CAD del bipedestador, se tomarán en cuenta las medidas segmentadas combinadas de ambos, para lograr un diseño que adapte a la mayoría de los usuarios de este rango de edad (125.7cm-132.8cm) En la tabla se muestran las medidas más importantes para el funcionamiento de la silla bipedestadora, sin embargo se tomaron más medidas de [27]para el diseño completo del dispositivo

Comparación por Sexo

Los niños presentan generalmente mayores aumentos absolutos en peso, estatura y longitudes segmentarias mientras que las niñas muestran un crecimiento más equilibrado y moderado, aunque con tendencias similares en la mayoría de las variables. A pesar de estas diferencias, los patrones de crecimiento son comparables en dirección y proporción, lo cual es común antes de la pubertad. El crecimiento entre los 5 y 9 años se caracteriza por una elongación notable del cuerpo, especialmente en las extremidades y el tronco, con una mayor proporción de cambio en el peso. Estos datos son fundamentales para:

- Evaluaciones del desarrollo físico en ámbitos clínicos y escolares.
- El diseño ergonómico de productos, mobiliario y equipamiento infantil.
- La planificación de intervenciones educativas, deportivas o nutricionales ajustadas a la edad y el sexo.
- El análisis permite comprender mejor las necesidades físicas de niños y niñas en esta etapa clave de crecimiento, favoreciendo la toma de decisiones basada en evidencia.

3.1.3 Seguridad

El dispositivo debe de respetar las limitaciones de la biomecánica humana al momento del proceso de bipedestación, y al mismo tiempo debe de ser a una velocidad moderada respetando las afecciones que pueda tener el usuario ya que pueden lastimarlo, de igual manera debe de contar con puntos de sujeción de un material acolchonado y que tenga el mayor contacto con el usuario para que no se hagan puntos significativos de presión.

3.1.4 Dimensionamiento del actuador

Como se apreció en la configuración ganadora del boceto conceptual, se hace uso de un actuador lineal, en donde existe la versión eléctrica y la versión manual, recordando que el propósito del proyecto es brindar la mayor autonomía posible en donde idealmente después de la evaluación por un profesional, se le otorgará control al usuario final para el cambio de postura, por lo que la versión eléctrica otorgará eso. Finalmente como ya se habló previamente, también se debe de asegurar que el motor seleccionado sea elegido con precisión para esta aplicación ya que un motor sub dimensionado no proporcionará la fuerza para levantar la carga, pero uno sobredimensionado aumentará el costo final del dispositivo, que va en contra del objetivo general del proyecto.

Para poder seleccionar un motor acorde a las necesidades requeridas, se realizará un diagrama de cuerpo libre con el propósito de calcular el momento en el punto A, esto nos permitirá dimensionar el actuador, se omitirá la suma de reacciones R_x y R_y en el punto A debido a que solo nos interesa saber la fuerza necesaria del actuador para dejar de estar en equilibrio y poder efectuar la bipedestación correctamente, obtenemos las distancia L_1 y L_2 del software *SolidWorks* .

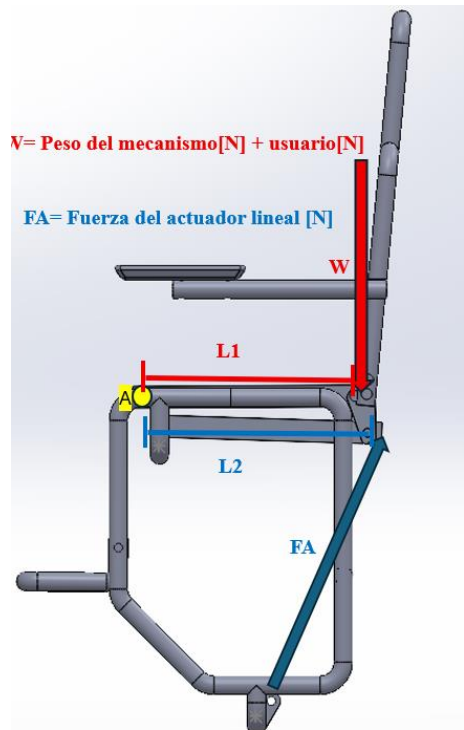


Figura 17. Diagrama de cuerpo libre en el bipedestador

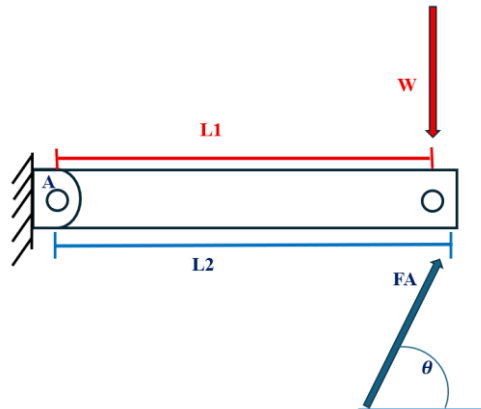


Figura 18. Diagrama simplificado para suma de momentos en el punto A

$$\sum M_A \text{ Suma de momentos en el punto A}$$

$$\sum M_A = F_A \cdot L_2 - W \cdot L_1 = 0 \quad (1)$$

Debido a que dentro de los objetivos del proyecto no está involucrado la elección del actuador, no se sabe a qué ángulo estará la fuerza F_A , sin embargo para propósito de dar un mejor detalle se propondrá que esta fuerza este a 45° respecto a la horizontal y se realizarán los cálculos pertinentes haciendo esta consideración.

$$F_{Actuador} \cdot \text{sen}45 \cdot L_2 - W \cdot L_1 = 0 \quad (2)$$

Despejando la fuerza del actuador y substituyendo los valores conocidos obtenemos

$$F_{A,y} = \frac{363.96[N] \cdot .345[m]}{\text{sen}45 \cdot .371[m]} = 478.645[N] \quad (3)$$

3.2 Diseño a detalle

En esta etapa, el diseño deja de ser únicamente un concepto depurado en CAD y se transforma en un proyecto completamente definido y especificado, listo para ser considerado en procesos reales de manufactura. Esta fase marca la culminación del diseño conceptual, por lo que ya no se toman decisiones de carácter general, en su lugar se determina la geometría final de cada componente, los materiales apropiados y cuando es posible, se seleccionan los actuadores específicos basados en los requerimientos de carga y desempeño del sistema, sin embargo para este proyecto se considerará para este proyecto una ventana de oportunidad para futuras iteraciones del trabajo.

Aunque la fabricación del prototipo no forma parte del alcance directo de este proyecto, el diseño se desarrolla bajo los criterios necesarios para garantizar que se pueda manufacturar. Esto implica considerar procesos, tolerancias y uniones, de modo que, en caso de ser construido, su producción sea viable, eficiente y acorde a los estándares mecánicos establecidos. De esta manera, se asegura que el prototipo es completamente realizable desde el punto de vista técnico y estructural.

3.2.1 Selección de materiales

Para la selección de materiales del prototipo en general es necesaria la investigación de metales utilizados en dispositivos de este estilo o de grado biomédico, la investigación se observó que dentro el aluminio es muy utilizado en esta industria, también se hizo una evaluación de las aleaciones que son aptas para esta aplicación [28]. Otro material médico y que es plausible su uso en esta aplicación es el acero, para ello también se encontraron las aleaciones idóneas que son utilizadas en este sector de dispositivos [29] y para el acero también se encontró un proyecto que si especifica la aleación del material utilizado, por lo que se contempló únicamente para la estructura [30].

3.2.2 Materiales estructurales

Para la selección del material que va a ser utilizado para construir la base en donde estará tanto el actuador, batería y el mecanismo de bipedestación buscamos ciertas propiedades a evaluar, buscamos que sea un material ligero, con un buen último esfuerzo a la fluencia, sin embargo una propiedad cualitativa es la maquinabilidad, que habla de la facilidad con la que se manufacturará la base, debido

a que es necesario el corte, doblez y soldadura para construirla es indispensable este parámetro. Las demás características evaluadas con su respectiva ponderación se pueden apreciar en la siguiente Tabla 12 y en el Gráfico 2 los resultados.

	Propiedad	Importancia	Peso relativo [%]
1	Densidad	5	33.333
2	Módulo de Young	3	20.000
3	Esfuerzo de cedencia	4	26.667
4	Costo	2	13.333
5	Disponibilidad	1	6.667
			100.000

Tabla 12. Parámetros del material estructural y su importancia

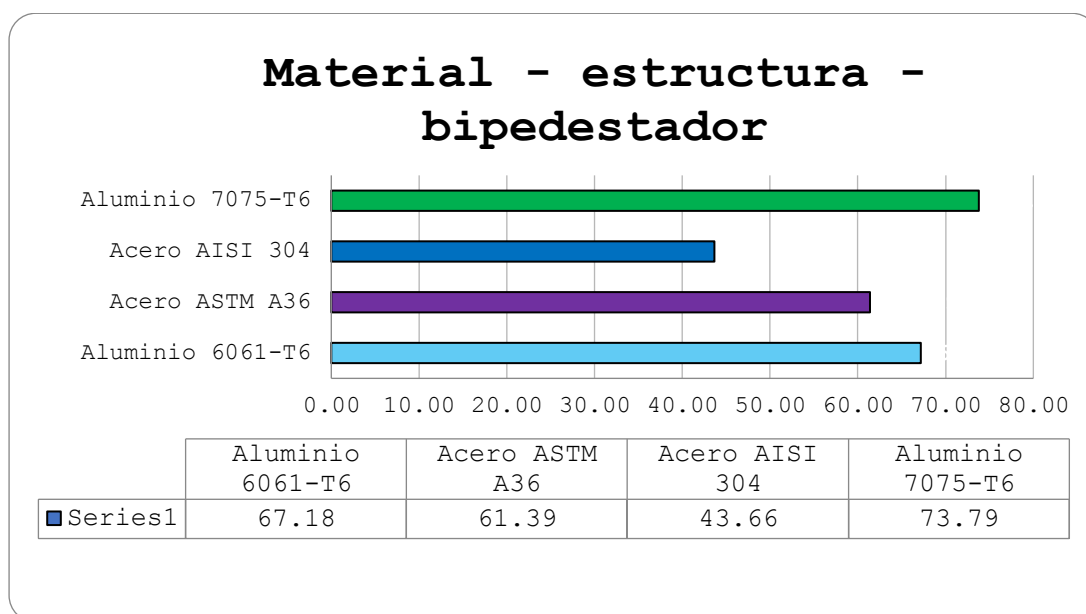


Gráfico 2. Valoración de los materiales estructurales

De la última gráfica podemos apreciar que el material ganador acorde a la ponderación de sus propiedades cualitativas y cuantitativas es el Aluminio 7075-T6.

3.2.3 Material para mecanismos

De manera similar para la elección del mecanismo bipedestador y de la mesa de juegos que se acoplará a voluntad, buscamos básicamente las mismas propiedades, con la excepción de la maquinabilidad,

ya que no se contempla un complejo nivel de manufactura más allá del corte, este será reemplazado con la disponibilidad que nos dejará ver mejor lo que se busca para esta aplicación, se muestra la ponderación de los parámetros en la Tabla 13 y en el Gráfico 3 los resultados.

	Propiedad	Importancia	Peso relativo [%]
1	Densidad	5	33.333
2	Módulo de Young	2	13.333
3	Esfuerzo de cedencia	4	26.667
4	Costo	3	20.000
5	Disponibilidad	1	6.667
			100.000

Tabla 13. Parámetros del material para mecanismos y su importancia

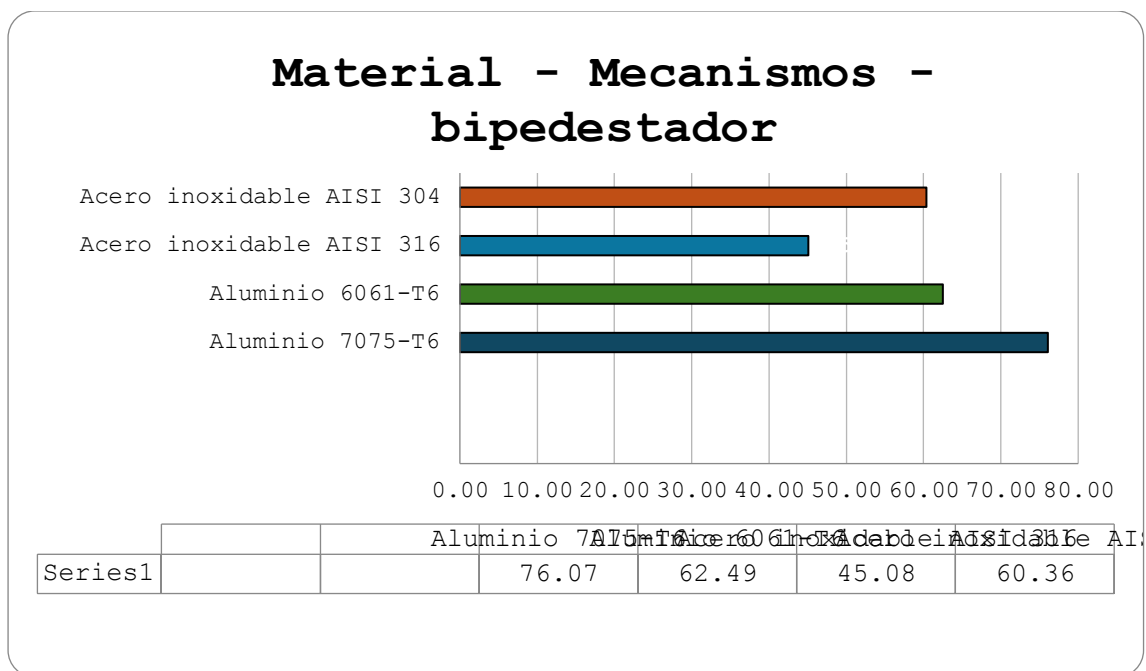


Gráfico 3. Valoración de los materiales para mecanismos

3.3 Diseño asistido por computadora

Una vez que se seleccionó la opción ganadora, la siguiente fase es plasmarlo lo más fielmente posible un software CAD, recordando que para mantener los costos bajos se busca desarrollarlo con piezas comerciales [31]. Para fines prácticos en donde se pretende mostrar el diseño realizado en las actividades del servicio social, se evitará las ruedas o cualquier aditamento extra que no esté involucrado directamente en el mecánico (cojines, pecheras o aditamentos de seguridad, etc.)

siguiendo estos parámetros se hizo una iteración y el ensamble de todos los componentes, a continuación se muestran en las Figuras 19-24 los resultados.

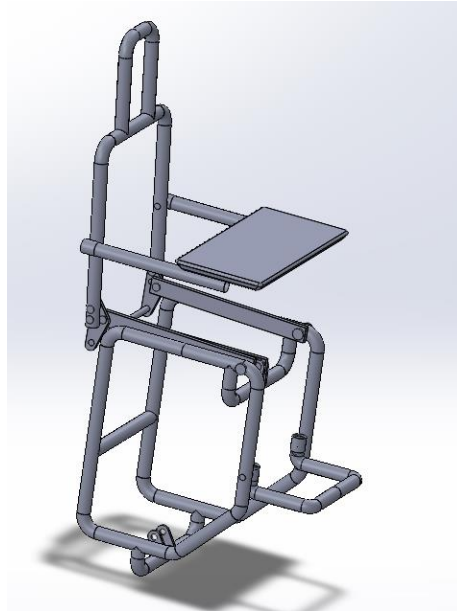


Figura 19. Vista isométrica de la bipedestadora

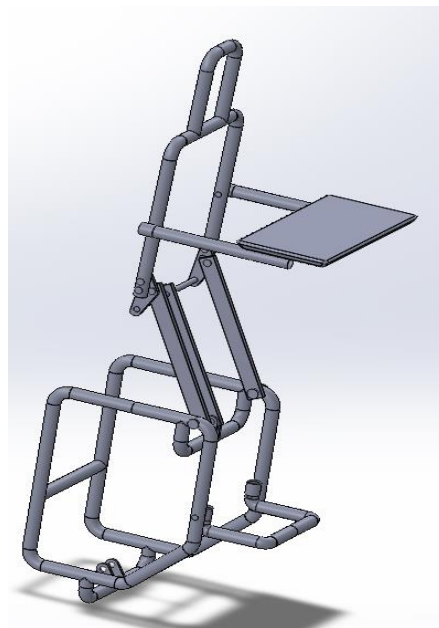


Figura 20. Vista isométrica de la silla bipedestadora en posición bípeda

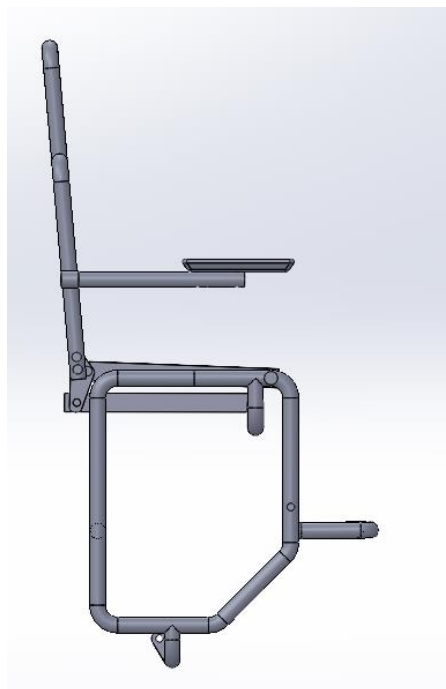


Figura 21. Vista lateral de la silla bipedestadora



Figura 22. Vista lateral de la silla bipedestadora en posición bípeda

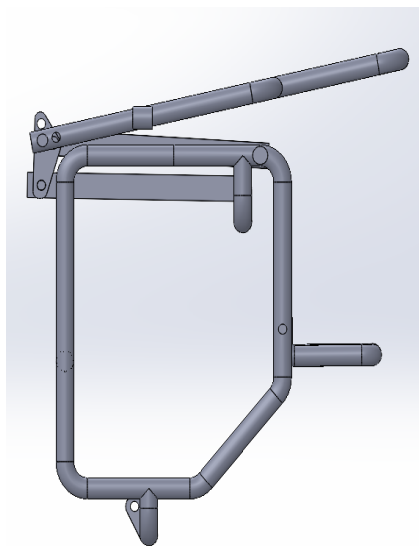


Figura 23. Vista lateral con el asiento colapsado

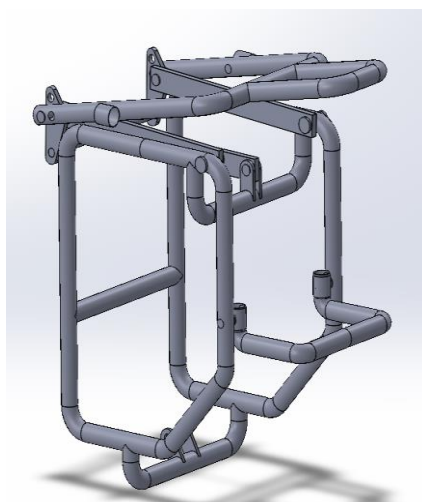


Figura 24. Vista isométrica con el asiento colapsado

4. Simulaciones y resultados

En cualquier buen proceso de diseño, la validación con el uso de herramientas de ingeniería asistida por computadora es elemental, para verificar que el sistema o componentes puedan resistir las condiciones a las que va a estar sometido durante su uso, en este caso se va a utilizar la herramienta de análisis de elemento finito integrada en el software de *SolidWorks*, debido a que el punto más fuerte de este trabajo fue realizar un buen diseño conceptual, y la validación del funcionamiento del modelo en software CAD, para esta parte nos interesa validar realmente los componentes que representan el mayor riesgo de una falla, para ello se utilizará el método de análisis modal de efectos y fallas, que nos ayudará a determinar los componentes críticos para someterlos a un estudio estructural de elemento finito.

4.1 Análisis Modal de efectos y fallas

Es un método estructurado y orientado a grupos que nos permite cuantificar los efectos de posibles fallas en un sistema, logrando fijar las prioridades de acción. Ha probado ser una herramienta útil y poderosa en la evaluación de fallas potenciales y en prevenirlas para evitar que ocurran, ya que verifica que el producto contenga cada una de las funciones y componentes requeridos y valida que el producto cumpla con las especificaciones [32].

Para cada fallo, se hace una estimación de su efecto sobre todo el sistema y su seriedad, los factores a considerar son los siguientes:

Severidad o gravedad: la seriedad del fallo producido

Ocurrencia: la frecuencia con la que ocurre una falla

Detectabilidad: si es fácil o difícil detecta el fallo.

Antes de empezar hay que considerar unos aspectos [32]:

- Al ser un método que nos permite categorizar los fallos, no todos los problemas son importantes.
- Es necesario conocer al usuario en el más amplio sentido para poder tener en cuenta las consecuencias del fallo.

- Se necesita conocer la función a la que se destina el elemento que puede fallar y que se podría analizar
- El objetivo es detectar fallas antes de que pasen así que el enfoque siempre debe ser orientado a la prevención

El primer paso para llevar un análisis correcto es definir el producto en términos de sistema, como todas las valoraciones de riesgo se basan en las formas en que un sistema puede fallar al cumplir su función, afortunadamente este paso ya fue completado anteriormente en donde se delimitaron los sistemas; Estructuras, Mecanismos, Ergonomía y seguridad y Automatización [32].

El segundo paso es saber las interacciones entre sistema ya que muy pocos sistemas funcionan de forma aislada, por ejemplo que los tornillos es la interfaz entre la estructura y los mecanismos.

El tercer paso es identificar los modos potenciales de falla al contestar preguntas como

- ¿Qué puede ocurrir si esta función falla?
- ¿Qué puede ocurrir si esta función falla antes o después de otra acción determinada?
- ¿Qué puede ocurrir si esta función no es realizada en la secuencia correcta?
- ¿Qué puede ocurrir si esta función no se realiza completamente?

El cuarto sería identificar el efecto potencial de cada fallo, es decir, buscar los efectos de un fallo en cada función, por ejemplo si se da un determinado fallo, ¿Cuáles serían las consecuencias que conlleva? O si otra función falla ¿Qué más podría ocurrir como consecuencia? [32]

Dado que realizar un análisis completo del prototipo consumiría demasiado tiempo y recursos computacionales, resulta necesario priorizar los componentes críticos. Mediante el uso del AMFE se identificará, dentro de cada sistema, el componente con mayor nivel de riesgo. El índice de prioridad de riesgo permitirá determinar qué elemento es más susceptible a fallar y, por lo tanto, cuál requiere validación mediante un análisis por elementos finitos. De este modo, se optimizan tiempo y esfuerzos que pueden destinarse a mejorar otros aspectos del proyecto.

De los componentes diseñados en el software *SolidWorks*, los más propensos a falla son los que tienen contacto inmediato con el actuador, debido a que en el sistema, esos componentes están sometidos tanto al peso del usuario y a la fuerza ejercida por el actuador, es por ello que solo se hará el análisis por FEA de estos componentes, tal cual lo explica la tabla del AMFE en los *Anexos*

4.2 Análisis de elemento finito

Como se habló previamente, para este proyecto únicamente se hará la validación en FEA de los componentes con contacto inmediato al actuador, como se puede ver en el trabajo en [33], se usó igualmente un diagrama de cuerpo libre para corresponder correctamente el peso al que estará sometida la silla bipedestadora, para este caso ya que evaluamos componentes específicos, hay que tener mayor cuidado en los pesos que se pondrán en el estudio estructural, el más importante es el peso combinado del usuario más el del mecanismo, para obtener el peso del mecanismo solo es necesario utilizar la herramienta de CAD para agregarle el material elegido y nos da el peso total, para el peso del usuario es donde hay que prestar atención al detalle, debido a que las piernas del usuario estarán apoyadas en el reposa pies, solo es necesario tener en cuenta el peso del tren superior, en la fuente [34] viene declarado que el peso aproximado de esta sección del cuerpo humano es del 60% del peso total, así que se tomará ese dato para los cálculos.

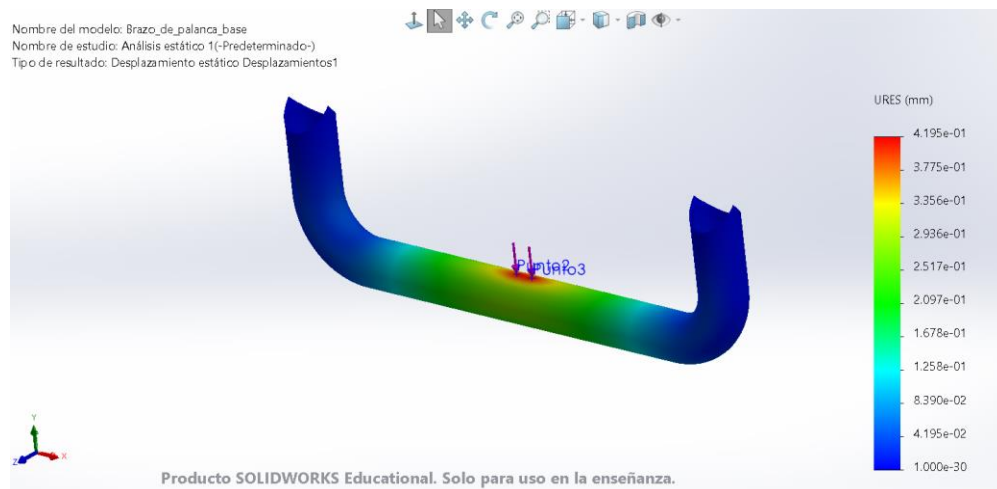


Figura 25. Desplazamiento del brazo de palanca

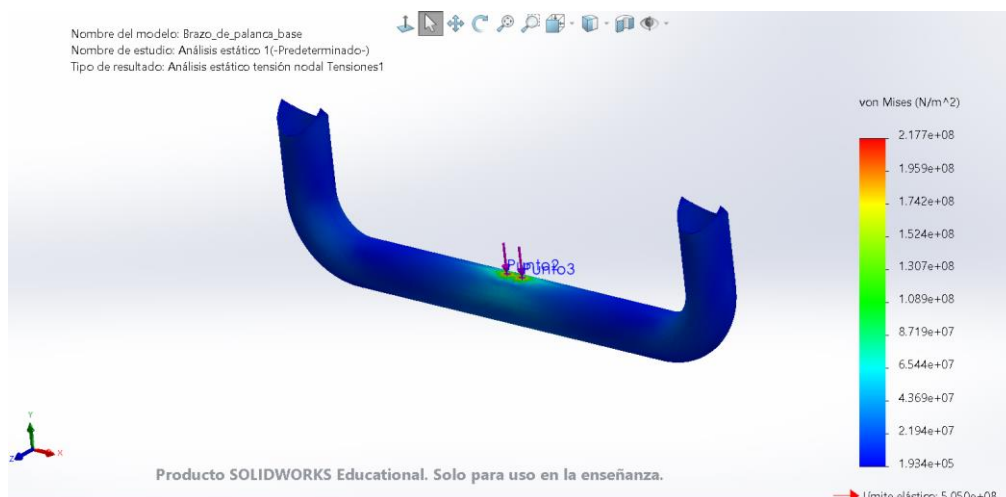


Figura 26. Estudio de von Mises del brazo de palanca

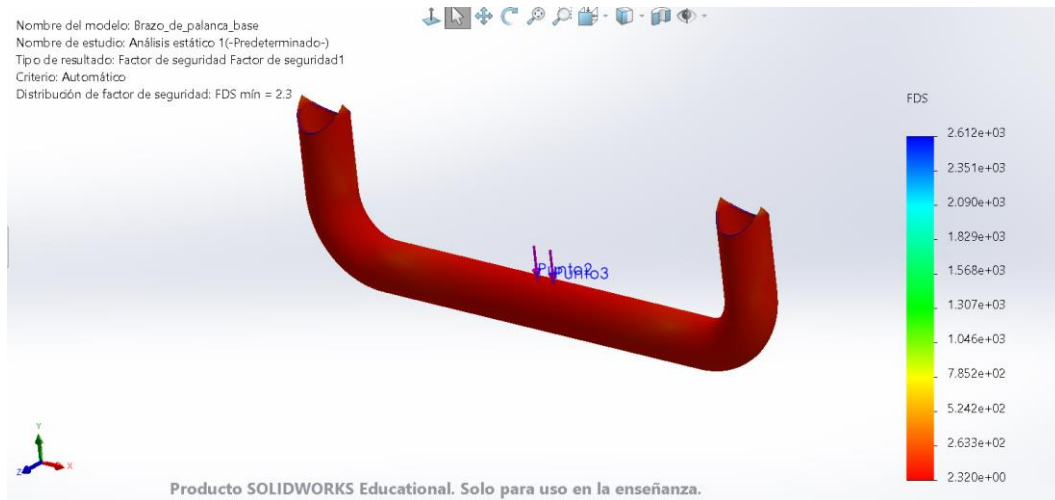


Figura 27. Factor de seguridad del Brazo de palanca

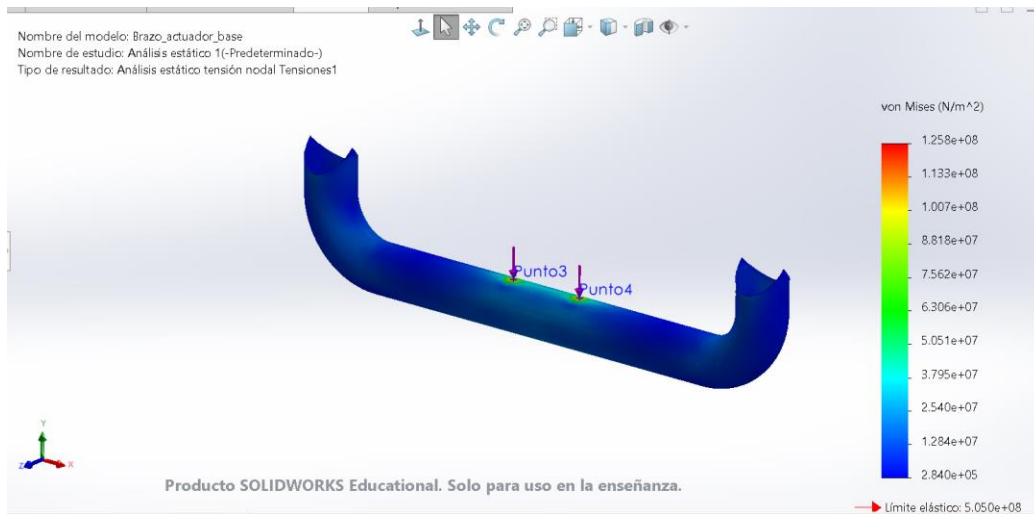


Figura 28. Estudio de von Mises del brazo del actuador

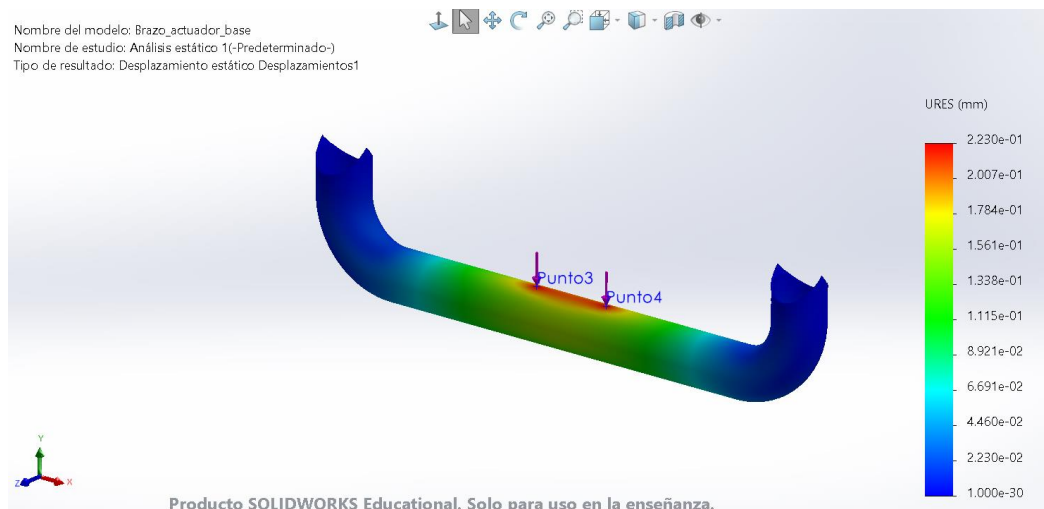


Figura 29. Desplazamiento del brazo del actuador

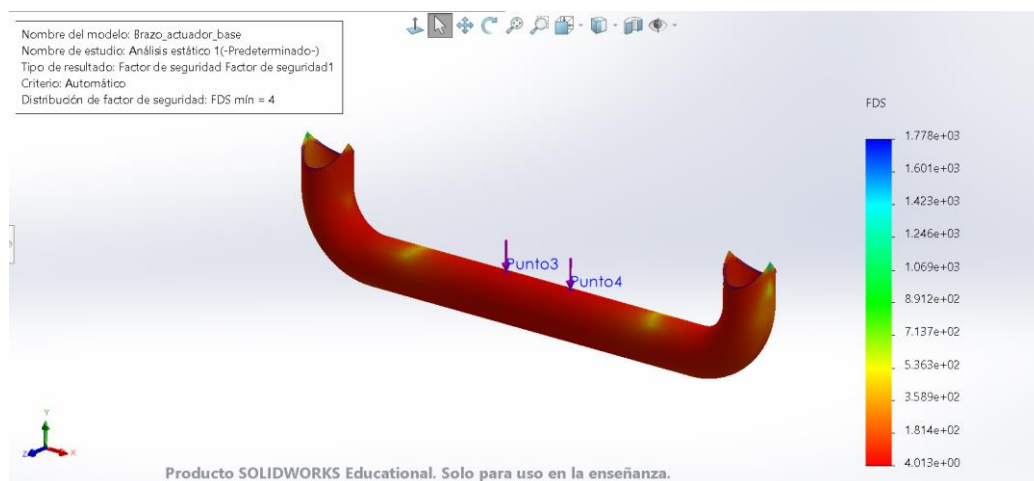


Figura 30. Factor de seguridad del brazo de actuador

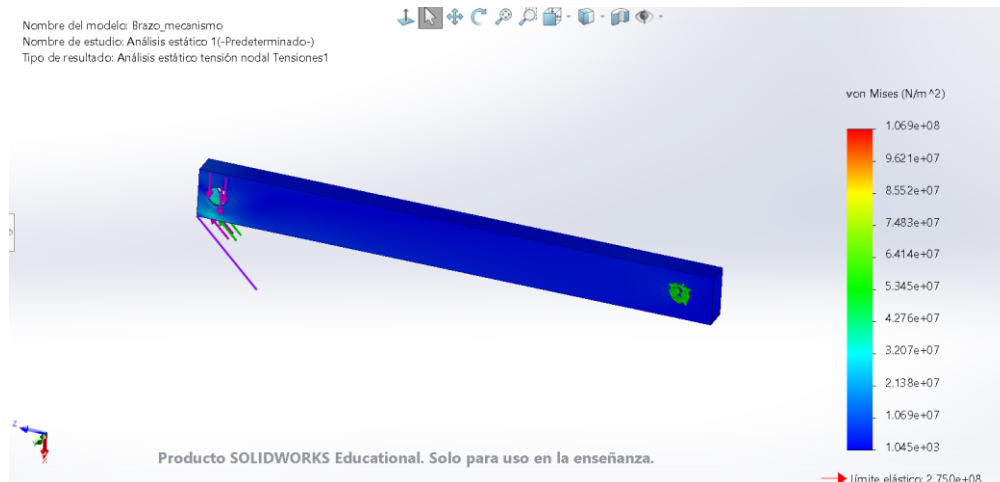


Figura 31. Estudio de von Mises del brazo del mecanismo

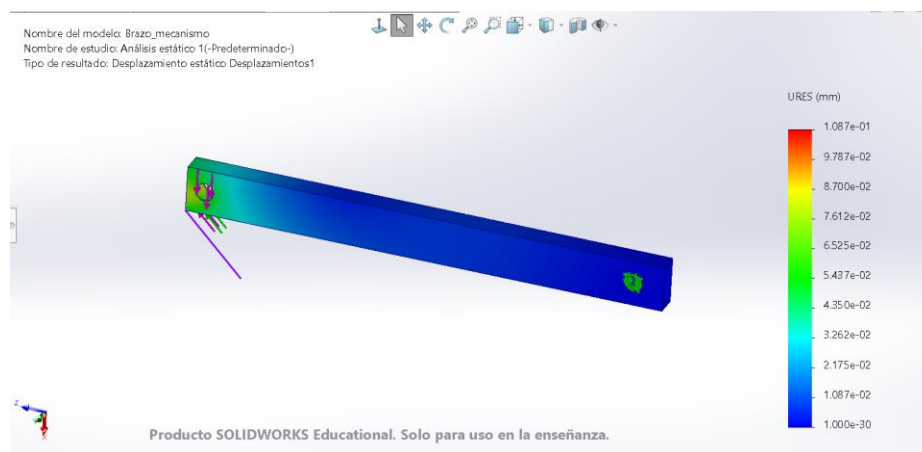


Figura 32. Desplazamiento del brazo del mecanismo

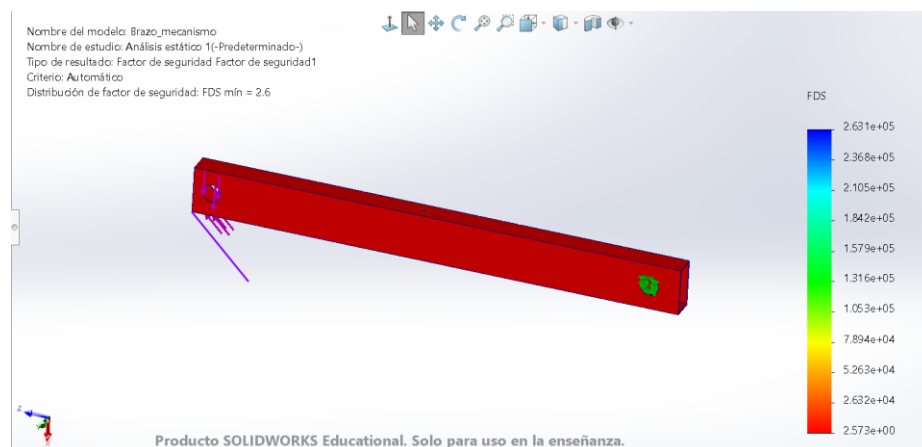


Figura 3. Factor de seguridad del brazo del mecanismo

4.3 Análisis de resultados

Una vez realizado el análisis por el método de elemento finito de los componentes críticos previamente identificados mediante el Análisis de Modo y Efecto de Fallas, es posible evaluar el comportamiento estructural de las piezas bajo las condiciones de carga consideradas. A partir de los resultados obtenidos se analizaron tres tipos principales de variables: esfuerzo equivalente de von Mises, desplazamiento y factor de seguridad, cada uno proporcionando una perspectiva distinta sobre el desempeño mecánico del sistema.

En primer lugar, respecto al esfuerzo equivalente de von Mises, los resultados muestran que en ninguna de las tres piezas analizadas se alcanzan valores iguales o superiores al límite elástico del material seleccionado. Esto indica que, bajo las condiciones de carga consideradas en la simulación, los componentes operan dentro de la región elástica del material, evitando así deformaciones permanentes o fallas estructurales. Este resultado permite afirmar que el diseño es capaz de soportar las cargas aplicadas sin comprometer la integridad estructural de los componentes.

En segundo lugar, el análisis de desplazamientos muestra que las deformaciones presentes en las piezas son reducidas y localizadas, manteniéndose dentro de rangos aceptables para el correcto funcionamiento del sistema. Estas pequeñas deformaciones no afectan de manera significativa la interacción entre los distintos componentes mecánicos, ni interfieren con la correcta operación del resto de los subsistemas involucrados. En particular, no se observan desplazamientos que puedan comprometer la alineación o el acoplamiento entre los mecanismos y la estructura general del dispositivo.

Finalmente, el análisis del factor de seguridad permite evaluar el margen existente entre las condiciones de operación y el punto de falla del material. En los modelos analizados se obtuvieron valores de factor de seguridad dentro de un rango adecuado para aplicaciones mecánicas de este tipo. De acuerdo con la literatura y con diseños similares reportados en otros proyectos [35], es común emplear factores de seguridad mínimos cercanos a 2 y máximos alrededor de 5, dependiendo de que tan crítico es el componente y de las incertidumbres asociadas a las condiciones de carga. Los resultados obtenidos en este estudio se encuentran dentro de este rango recomendado, lo cual indica que las piezas presentan un dimensionamiento adecuado, ofreciendo un margen de seguridad suficiente sin incurrir en un sobredimensionamiento innecesario.

En conjunto, los resultados del análisis permiten concluir que los componentes sometidos a estudio presentan un comportamiento estructural adecuado bajo las condiciones de carga consideradas, ya que los esfuerzos se mantienen por debajo del límite elástico del material, los desplazamientos son mínimos y los factores de seguridad se encuentran dentro de valores recomendados en diseños comparables. Por lo tanto, se puede afirmar que las piezas analizadas son capaces de soportar sin inconvenientes la carga aplicada por el usuario, garantizando un funcionamiento seguro y confiable del sistema, además si es necesario en futuras iteraciones agregar los detalles finales al dispositivo, como es el caso del acolchonamiento, electrónica o la batería para el funcionamiento, este soportará el peso adicional sin problema alguno.

Conclusiones

El presente proyecto fue realizado en el marco de las actividades del servicio social donde se cumplieron con los objetivos del programa y su respectiva lista de actividades. En donde se tenía

como objetivo particular el rediseño integral del bipedestador del Ing. Gustavo Rojas Coca. En su totalidad, las actividades desempeñadas durante el servicio social en donde se empezó con el análisis del prototipo existente, funciono para poder realizar este buen diseño, en donde cada decisión de diseño fue rigurosamente pensada para cumplir con los requerimientos principales del usuario, en donde la seguridad fue de los elementos más importantes a tomar en cuenta.

Debido a la nula información del proceso de diseño e inclusive ningún plano o dibujo del bipedestador mencionado, toda investigación y enfoque fue tomada desde cero, únicamente tomando en cuenta el prototipo físico para realizar un rediseño sobre él, lo que permitió tener un camino muy diferente al que se tenía concebido en un inicio. El viaje desde cero que se impartió permitió entender más profundamente el proceso y las decisiones de diseño, para poder cumplir de la mejor manera las expectativas propuestas por el equipo.

Si bien cada parte del proceso fue importante y llevada a cabo de la mejor manera, el proyecto si se enfocó mayormente en el diseño conceptual, no solo debido a los alcances definidos del proyecto por cuestiones internas del equipo, sino porque es el cimiento de cualquier proyecto exitoso, en donde un error en esta fase puede ocasionar que al momento de definir algo más conciso, esto falle por una mala planeación. El proyecto aun cuenta con una gran ventana de oportunidad para poder seguirlo mejorando y terminar de definirlo hasta su manufactura misma, de ello se hablará más adelante.

Después de haberse realizado un análisis del usuario para ver si es apto para usar el dispositivo, gracias a su diseño, el usuario será beneficiado con la facilidad de controlarlo por sí mismo con un solo control de fácil uso, además como está planificado para un rango de edades y el diseño puede adaptarse a los segmentos corporales de mayor cambio, se podrá hacer uso del aparato por un tiempo más prolongado y mejor definido a diferencia de otras opciones investigadas en el mercado que solo se enfocan en las medidas y no en la edad.

Se solucionaron muchas cuestiones que carecía el prototipo base como la facilidad de mantenimiento sin la preocupación de generación de hongos y bacterias, un diseño más amigable con el usuario en términos de ergonomía aparte de que es un diseño más fácil de manipular en sus aditamentos.

El diseño mecánico fue validado a través de un análisis de elemento finito, en donde las piezas de mayor riesgo fueron evaluadas y salieron con factores de seguridad aceptables, sin ser sobredimensionado y tampoco que represente un fallo en el proceso de bipedestación.

Finalmente, se puede concluir que el proyecto cumplió con el objetivo de abordar un desafío social mediante el diseño y desarrollo de un sistema mecatrónico orientado a mejorar la calidad de vida de niños con parálisis cerebral. A través de la aplicación de conocimientos de ingeniería mecánica,

diseño asistido por computadora y análisis estructural, se desarrolló una propuesta de silla bipedestadora que busca ofrecer una solución funcional, segura y accesible. Este trabajo integró creatividad, pensamiento crítico y criterios de sostenibilidad en el proceso de diseño, demostrando cómo la ingeniería puede contribuir al avance tecnológico mientras atiende necesidades reales de la comunidad.

Trabajo a futuro

Como se mencionó brevemente, el proyecto presenta diversas áreas de oportunidad para su mejora. En cuanto al diseño mecánico, el modelado en CAD contempló únicamente los elementos estructurales y mecanismos principales. Sin embargo, aún es necesario profundizar en el diseño de componentes clave para que el sistema funcione como una silla de ruedas completamente operativa, tales como el diseño de las ruedas impulsoras, la selección adecuada de rodamientos y tornillería considerando los ciclos de uso del dispositivo, así como la selección del modelo de actuador lineal y su perfil de velocidad. Este último elemento resulta fundamental, ya que será el encargado de realizar la función principal de bipedestación, por lo que deberá dimensionarse de acuerdo con las necesidades del usuario. Finalmente, una iteración posterior del diseño podría incluir un modelado más completo del sistema y su análisis mediante software especializado de elementos finitos. Para los aditamentos del dispositivo, la selección de un buen acolchonamiento junto con el sistema de sujeción es la tarea más importante para la seguridad y comodidad del usuario, otro detalle importante es ver la integración del diseño actual de la mesa de juegos para que sea fácil de poner así como de remover sin tanta complejidad como el prototipo base.

Otra área de oportunidad corresponde a la integración del sistema electrónico necesario para el correcto funcionamiento del dispositivo. Esto incluye la selección de sensores, sistemas de control de postura, batería, microcontroladores y la etapa de potencia requerida para suministrar energía de manera eficiente tanto al actuador lineal como a los distintos componentes eléctricos del sistema.

Referencias

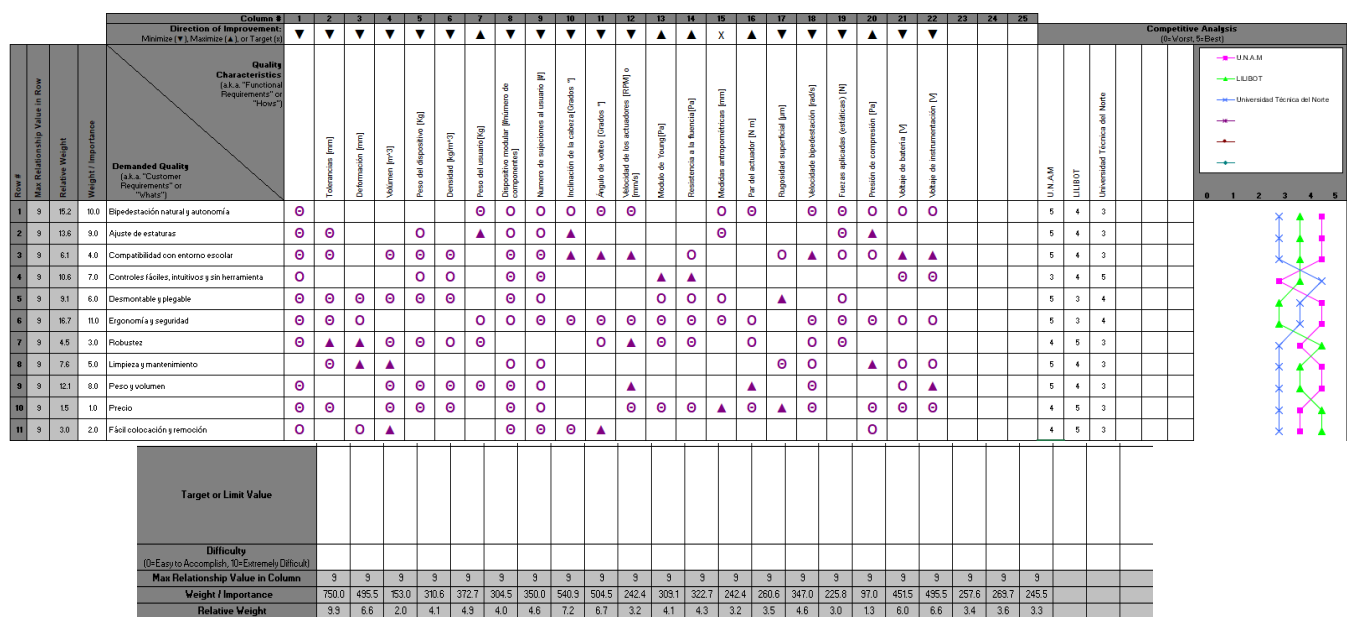
- [1] INEGI, “La población de México,” <https://cuentame.inegi.org.mx/descubre/poblacion/poblacion/>.
- [2] Instituto de Salud para el Bienestar, “Día Mundial de la Parálisis Cerebral | 06 de octubre,” <https://www.gob.mx/insabi/articulos/dia-mundial-de-la-paralisis-cerebral-06-de-octubre>.
- [3] Robert Palisano, Peter Rosenbaum, Doreen Bartlett, and Michael Livingston, “GMFCS – E & R Clasificación de la Función Motora Gruesa Extendida y Revisada,” https://canchild.ca/wp-content/uploads/2025/03/GMFCS-ER_Translation-Spanish.pdf?license=yes.
- [4] MIGUEL RUFO-CAMPOS and MIGUEL RUFO-MUÑOZ, “Parálisis cerebral infantil,” *Neurología Infantil. Hospital Infantil. Hospitales Universitarios Virgen del Rocío*, 2005.
- [5] F. Barron-Garza *et al.*, “Incidence of Cerebral Palsy, Risk Factors, and Neuroimaging in Northeast Mexico,” *Pediatr. Neurol.*, vol. 143, pp. 50–58, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.pediatrneurol.2023.02.005.
- [6] El Universal, “México supera el promedio mundial en incidencia de parálisis cerebral,” <https://www.eluniversal.com.mx/opinion/opinion-51/mexico-supera-el-promedio-mundial-en-incidencia-de-paralisis-cerebral/>.
- [7] Teresa Garcés Cardós, Ana Carme Valer Pelarda, Elsa Mallor López, Celia Carmen Herranz Medina, Laura Sancho Gil, and Mar Sancho García, “Programas de bipedestación en niños con ausencia o retraso en su adquisición.” *Revista Sanitaria de Investigación*, Sep. 2021.
- [8] Jorge Salcedo, “Mexicanos prefieren ir a consulta y hacerse estudios en clínicas privadas,” *El Sol de México*, Ciudad de México, Aug. 01, 2024.
- [9] J. Brooks, S. Day, R. Shavelle, and D. Strauss, “Low weight, morbidity, and mortality in children with cerebral palsy: New clinical growth charts,” *Pediatrics*, vol. 128, no. 2, Aug. 2011, doi: 10.1542/peds.2010-2801.
- [10] Laura Poy Solano, “Tienen baja talla 1.2 millones de menores de 5 años en México,” *La Jornada*, Ciudad de México, Aug. 08, 2022.
- [11] Pediatras en Guadalajara, “PUBERTAD NORMAL,” <https://www.pediatrasenguadalajara.com.mx/enfermedades-frecuentes/pubertad-normal/>.
- [12] Mayo Clinic, “Parálisis cerebral infantil,” <https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/cerebral-palsy/symptoms-causes/syc-20353999>.
- [13] Jenifer K. Lehrer, David C. Dugdale, and Brenda Conaway, “Enfermedad por reflujo gastroesofágico,” Medline Plus.
- [14] Sunrise Medical, “Beneficios de las sillas de ruedas con bipedestación,” <https://www.sunrisemedical.es/blog/beneficios-sillas-bipedestacion>.

- [15] Kairos Medical, “¿Qué es un bipedestador y para qué sirve?,” <https://www.kairosmedical.cl/blog/bipedestador/>.
- [16] Ivan Barros, “¿Qué tipos de bipedestadores existen?,” <https://xn--ortopediaortoespaa-30b.es/blog/tipos-bipeddestadores/>.
- [17] Sunrise Medical, “Sillas de Ruedas Eléctricas vs. Manuales: ¿Cuál es la elección correcta para ti?,” <https://www.sunrisemedical.es/blog/sillas-electricas-vs-manuales>.
- [18] Cinco5 Pediatría, “Bipedestador MINI STANDY,” <https://www.ayudasdinamicas.com/p/bipedestadores/bipedestador-mini-standy>.
- [19] Puro Diseño Mexicano, “Silla Bipedestadora Infantil Mini Eléctrica,” <https://pdmmbilitystore.com/products/silla-bipedestadora-infantil-mini-electrica?variant=39892202258492>.
- [20] M. T. Munir *et al.*, “Hygienic Perspectives of Wood in Healthcare Buildings,” Sep. 01, 2021, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/hygiene1010002.
- [21] Irene Jimeno, “PROPIEDADES MECÁNICAS ,” <https://tocamaderablog.com/propiedades-mecanicas/>.
- [22] O. Tambaco, D. Ortiz, and F. Valencia, “Silla de ruedas mecatrónica bipedestadora para personas parapléjicas.”
- [23] Ana López Ortiz, “DE SEDESTACIÓN A BIPEDESTACIÓN: Fases y claves para decidir cuándo ofrecer una ayuda técnica,” <http://linkedin.com/pulse/de-sedestaci%C3%B3n-bipedestaci%C3%B3n-fases-y-claves-para-decidir-cu%C3%A1ndo-/>.
- [24] LUNA JURADO MARTÍN MIGUEL and RODRÍGUEZ LÓPEZ CARLOS ANDRÉS, “Diseño Mecánico de un Exoesqueleto de cadera y rodilla,” Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 2015.
- [25] SANFIT, “Importancia de la Estabilidad Lumbo-Pélvica,” <https://sanfit.wordpress.com/2017/06/29/importancia-de-la-estabilidad-lumbo-pelvica/>.
- [26] Olga Batalova, “Una niña pequeña. Delante, atrás, lado. Silueta infantil. Croquis de moda. Ilustración vectorial.,” <https://www.shutterstock.com/es/image-vector/toddler-figure-front-back-side-child-2334026993?trackingId=f4d0c5ac-dae5-450b-8dbe-d0f3f8a59735&listId=searchResults>.
- [27] R. . Avila Chaurand, L. R. . Prado León, and E. L. . González Muñoz, *Dimensiones antropométricas de población latinoamericana*. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño, División de Tecnología y Procesos, Departamento de Producción y Desarrollo, Centro de Investigaciones en Ergonomía, 2001.
- [28] Chaluminium, “Aleaciones de aluminio de grado médico: propiedades y aplicaciones,” <https://www.chaluminium.com/es/medical-grade-aluminum-alloys-properties-and-applications>.

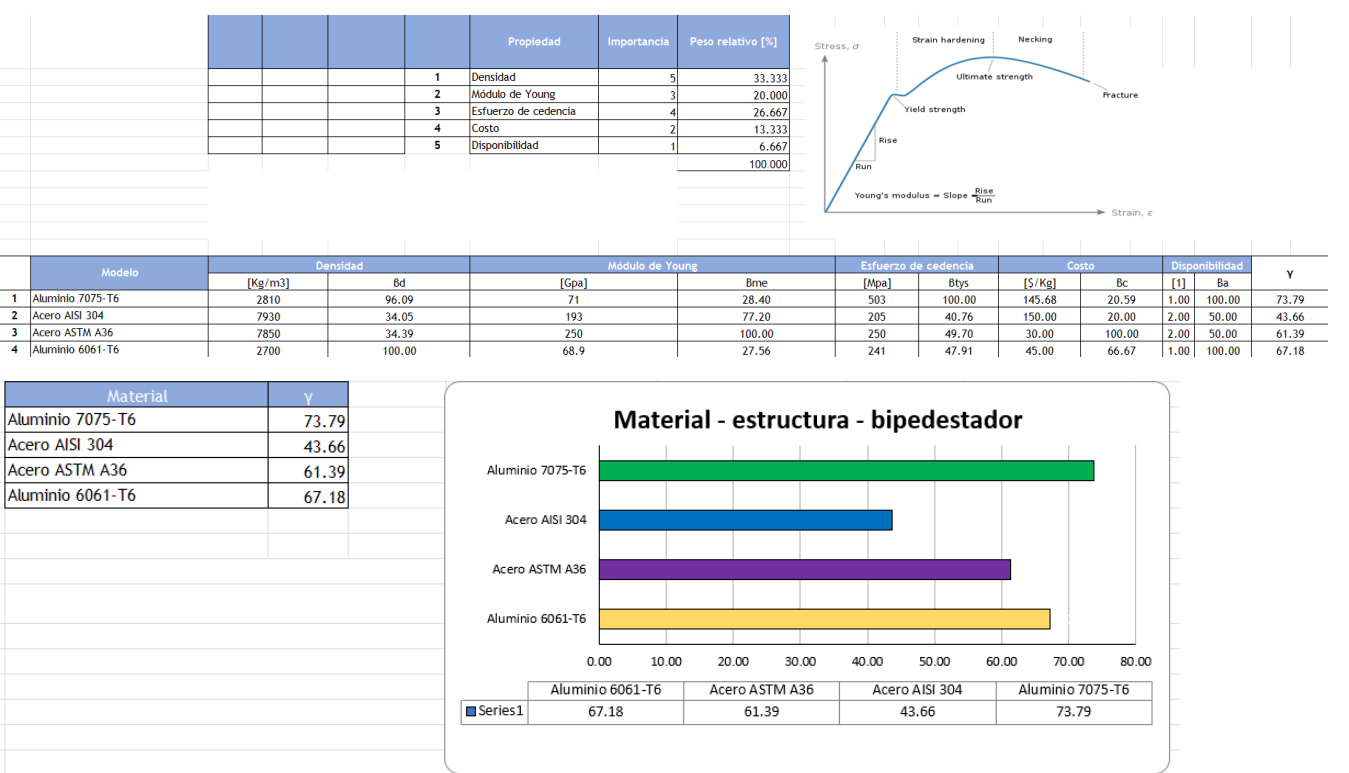
- [29] SINOX Industrial, “El uso del acero inoxidable en el sector salud / Aplicaciones médicas del acero inoxidable,” <https://sinoxindustrial.com/el-uso-del-acero-inoxidable-en-el-sector-salud-aplicaciones-medicas-del-acero-inoxidable/>.
- [30] J. Calle-Siguencia, W. Tasinchano-Parra, D. Guerra-Serrano, and A. Velasteguí-Benalcazar, “Desarrollo de un Prototipo de Bipedestador dinámico para la rehabilitación de extremidades inferiores.”
- [31] Aluminio y Metales El Socorro, “Tubo Redondo de Aluminio,” <https://aluminioymetaleselsocorro.com/tubo-redondo-de-aluminio/>.
- [32] M en I Serafin Castañeda Cedeño, “AMFE (Análisis Modal de Fallas y Efectos),” 2025, *Ciudad de México*.
- [33] M. Geovanny, M. Pabón, and I. D. Ortiz, “Construcción de una Silla bipedestador para el prototipo móvil ‘LILIBOT.’”
- [34] L. K. Osterkamp, “Current Perspective on Assessment of Human Body Proportions of Relevance to Amputees,” *J. Am. Diet. Assoc.*, vol. 95, no. 2, pp. 215–218, 1995.

Anexos

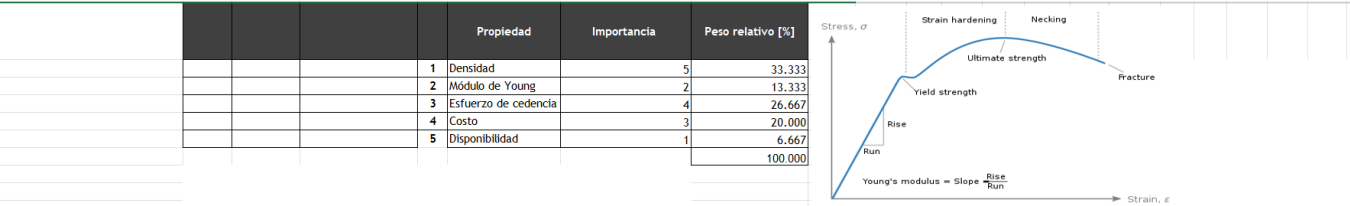
Matriz QFD



Matriz de Materiales Estructurales

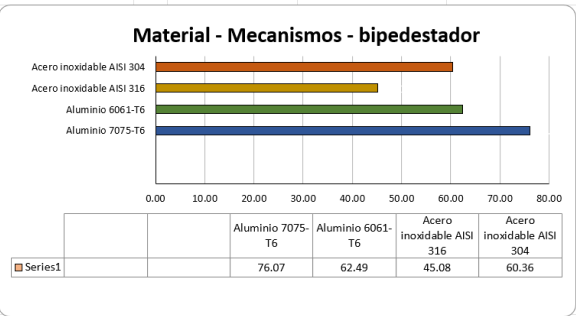


Matriz de Materiales de Mecanismos



Modelo	Densidad		Módulo de Young		Esfuerzo de cedencia		Costo		Disponibilidad		
	[Kg/m3]	δd	[Gpa]	δme	[Mpa]	δtys	[\$/Kg]	Bc	[I]	Ba	Y
Acero inoxidable AISI 304	7930	34.05	193	100.00	170	33.80	60.50	100.00	8.00	100.00	60.36
Acero inoxidable AISI 316	7990	33.79	193	100.00	205	40.76	170.00	35.59	3.00	37.50	45.08
Aluminio 6061-T6	2700	100.00	69	35.75	276	54.87	216.59	27.93	5.00	62.50	62.49
Aluminio 7075-T6	2810	96.09	71	36.79	503	100.00	145.68	41.53	5.00	62.50	76.07

Material	Y
Acero inoxidable AISI 304	60.36
Acero inoxidable AISI 316	45.08
Aluminio 6061-T6	62.49
Aluminio 7075-T6	76.07



Matriz AMFE

ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO Y SUS EFECTOS (AMFE) Facultad de Ingeniería

Sistema: Silla bipedestadora

Unidad: Mecanismos y estructura

Fecha de elaboración: 01/02/2026

Responsables del diseño:

Responsable de la unidad:

Fecha de revisión:

Martínez Sánchez Rodolfo Manuel

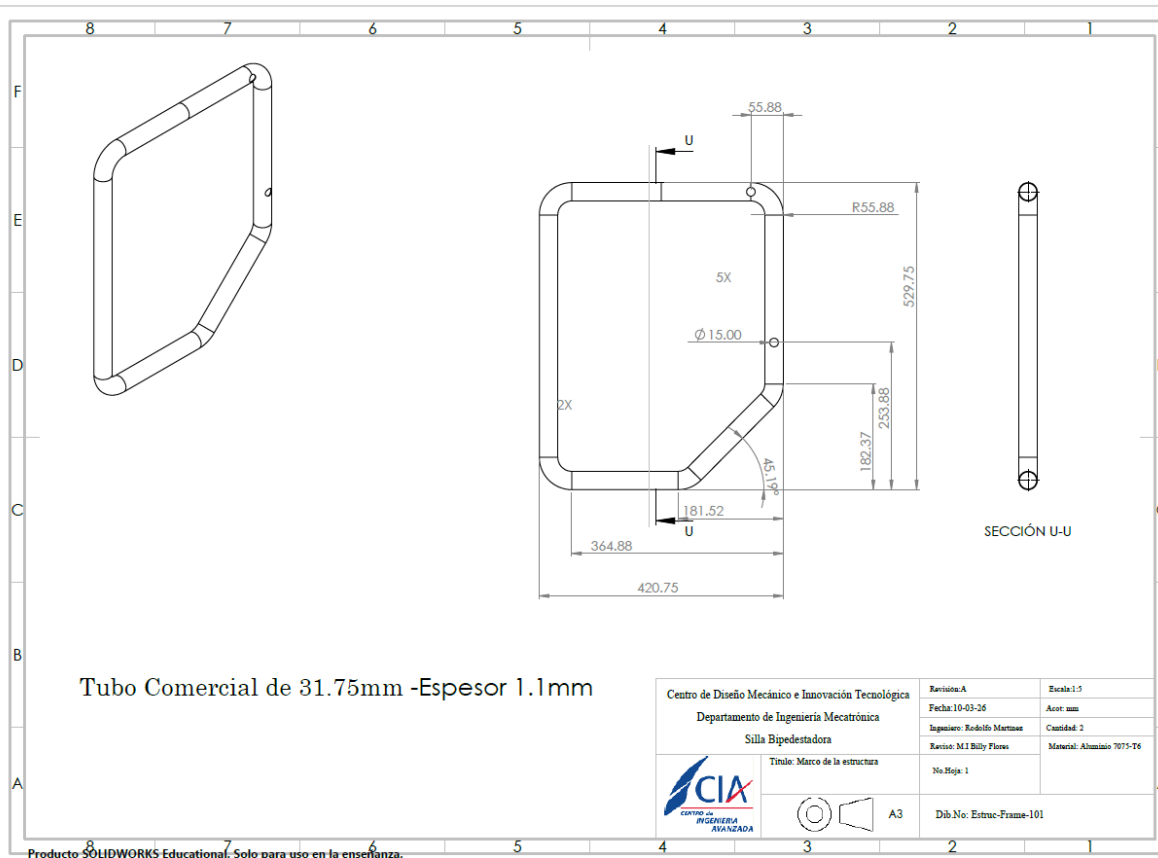
Martínez Sánchez Rodolfo Manuel

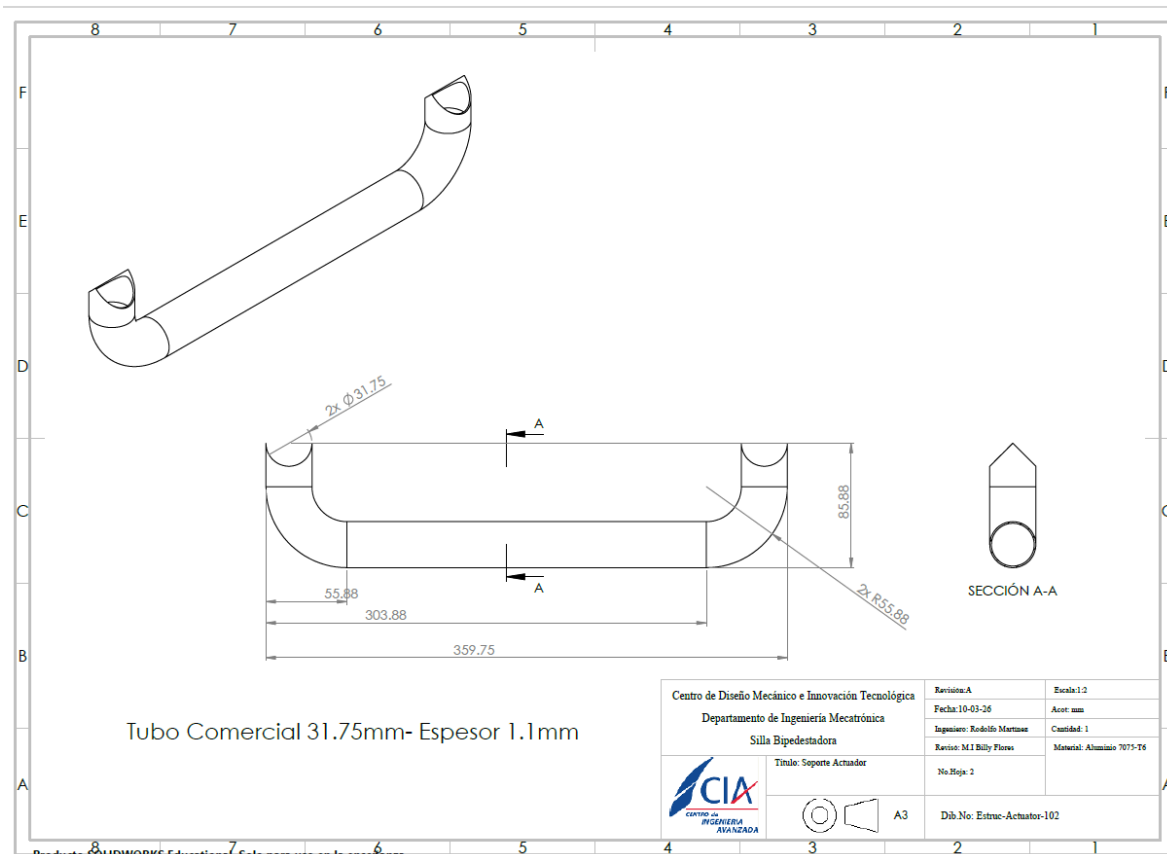
02/02/2026

Límites de las funciones/ Uniones entre sistemas	Id (fallo)	Fallos	Efectos	Causas	Ocurrencia 10)*	(1- Severidad 10)*	(1- Detectabilidad (10-1))*	IPR	Acción correctora
SopORTE de actuador lineal	1	Deformarse en el tubo donde esta sostenido	No se efectua la función de bipedestar	Mala selección del material	8	9	9	648	Análisis de elemento finito
Barra de empuje de mecanismo	2	La barra se puede deformar	No se efectua la función de bipedestar	Mala selección del material	8	9	9	648	Análisis de elemento finito
Asiento	3	Salirse de la junta donde esta unida	Lastimar al usuario	No elegir los componentes adecuados para la junta	7	8	8	448	Hacer un buen diseño
Respaldo	4	Salirse de la junta donde esta unida	Lastimar al usuario	No elegir los componentes adecuados para la junta	7	8	8	448	Elegir bien los componentes
Unión entre estructura y mecanismo	5	Deformar el barreno	No se efectua la función de bipedestar adecuadamente	Mala selección del material	8	7	9	504	Buena selección del material
Reposa pies	6	RompersE	Hacer que el usuario se caiga	Mala selección del material y/o diseño del reposa pies	6	8	9	432	Elegir bien los materiales y hacer un buen diseño
Cabecera	7	Deformarse	No sostener la cabeza del usuario efectivamente	Mal diseño de la cabecera	5	6	6	180	Hacer un buen diseño

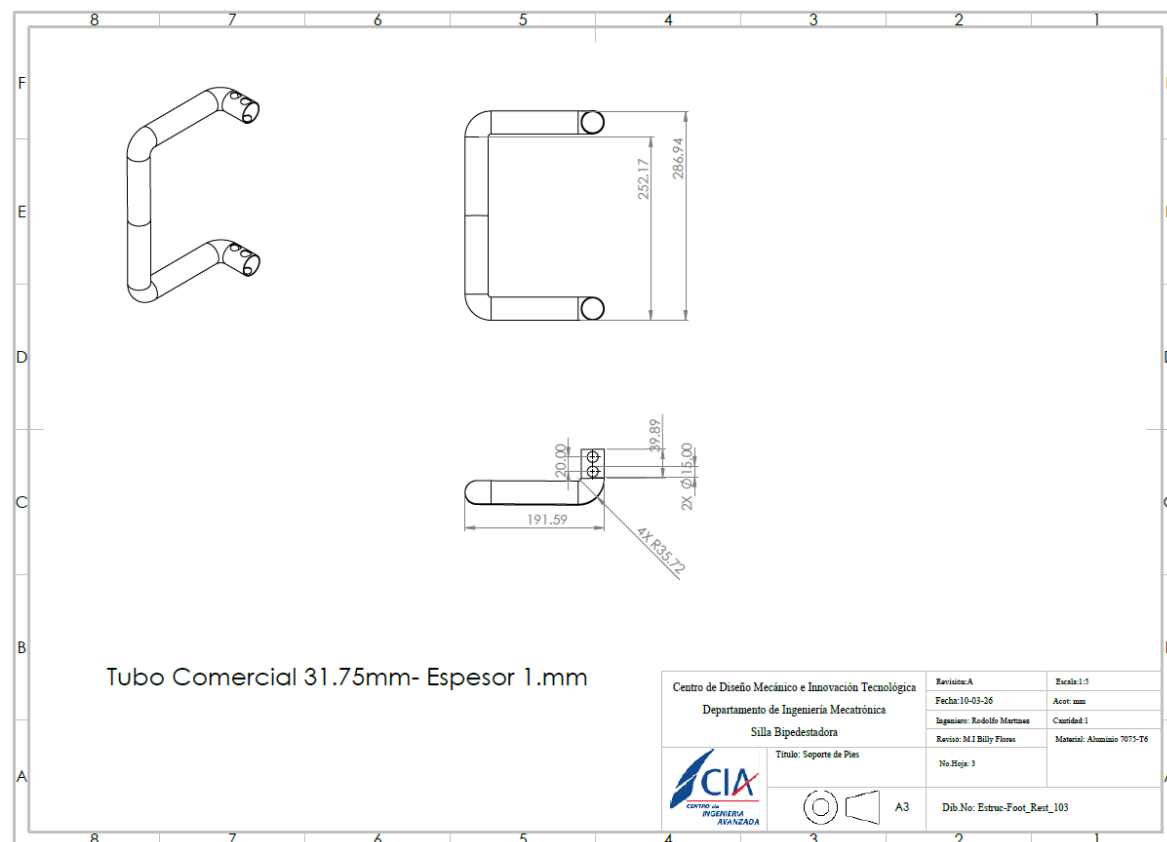
Tabla de criterios de evaluación de Severidad, ocurrencia y Detección			
Puntuación	Severidad (S)	Frecuencia – ocurrencia (O)	Detección (D)
10	Peligroso sin advertencia	Muy alta: fallo casi inevitable	No se pueden detectar
9	Peligroso con advertencia		Posibilidad muy remota de detección
8	Pérdida de función primaria	Alta: fallos repetidos	Posibilidad remota de detección
7	Rendimiento reducido de la función primaria		Posibilidad muy baja de detección
6	Pérdida de función secundaria	Moderada: fallos ocasionales	Posibilidad baja de detección
5	Rendimiento reducido de función secundaria		Posibilidad moderada de detección
4	Defecto pequeño notado por la mayor parte de los clientes	Baja: pocos fallos	Posibilidad moderada alta de detección
3	Defecto pequeño notado por algunos clientes		Posibilidad alta de detección
2	Defecto pequeño notado por pocos clientes meticulosos		Posibilidad muy alta de detección
1	Sin efecto	Remota: fallos improbables	Detección casi segura
Adriana Gómez Villoldo		http://asesordecalidad.blogspot.com	

Planos

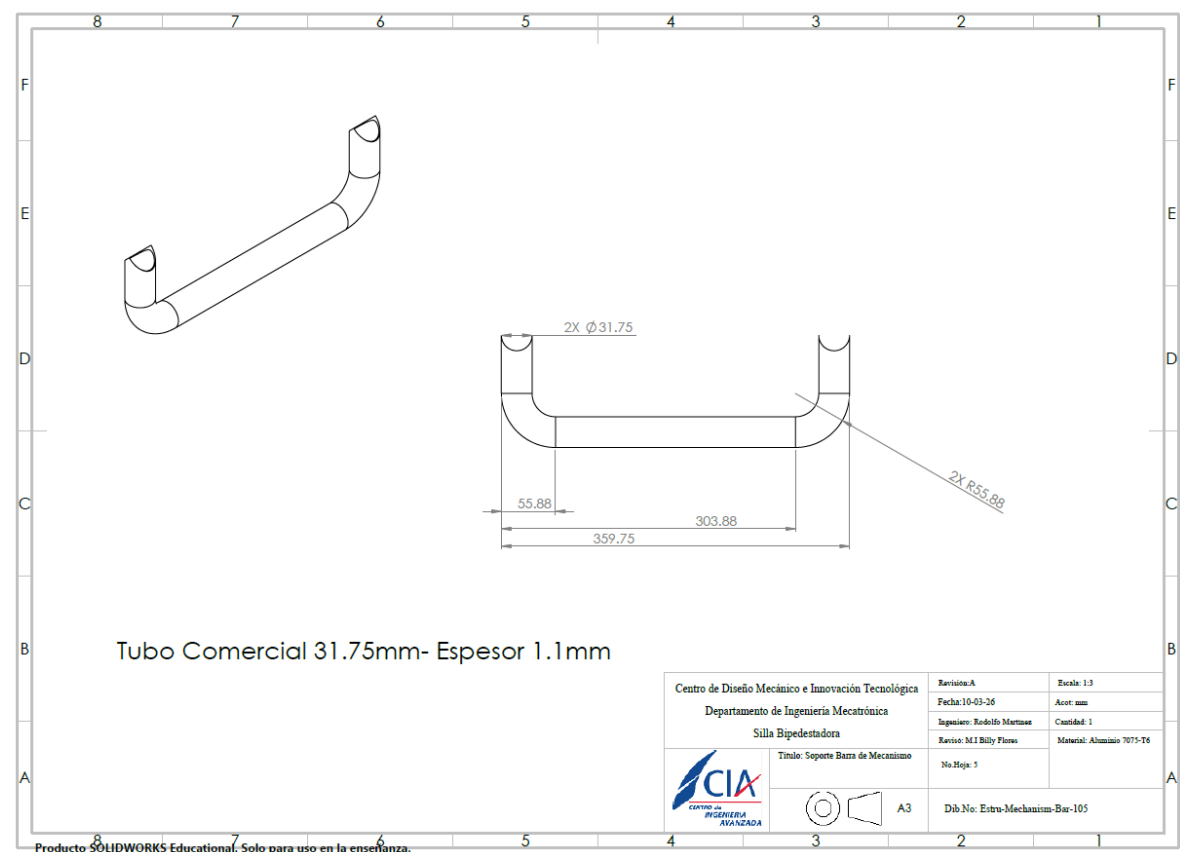
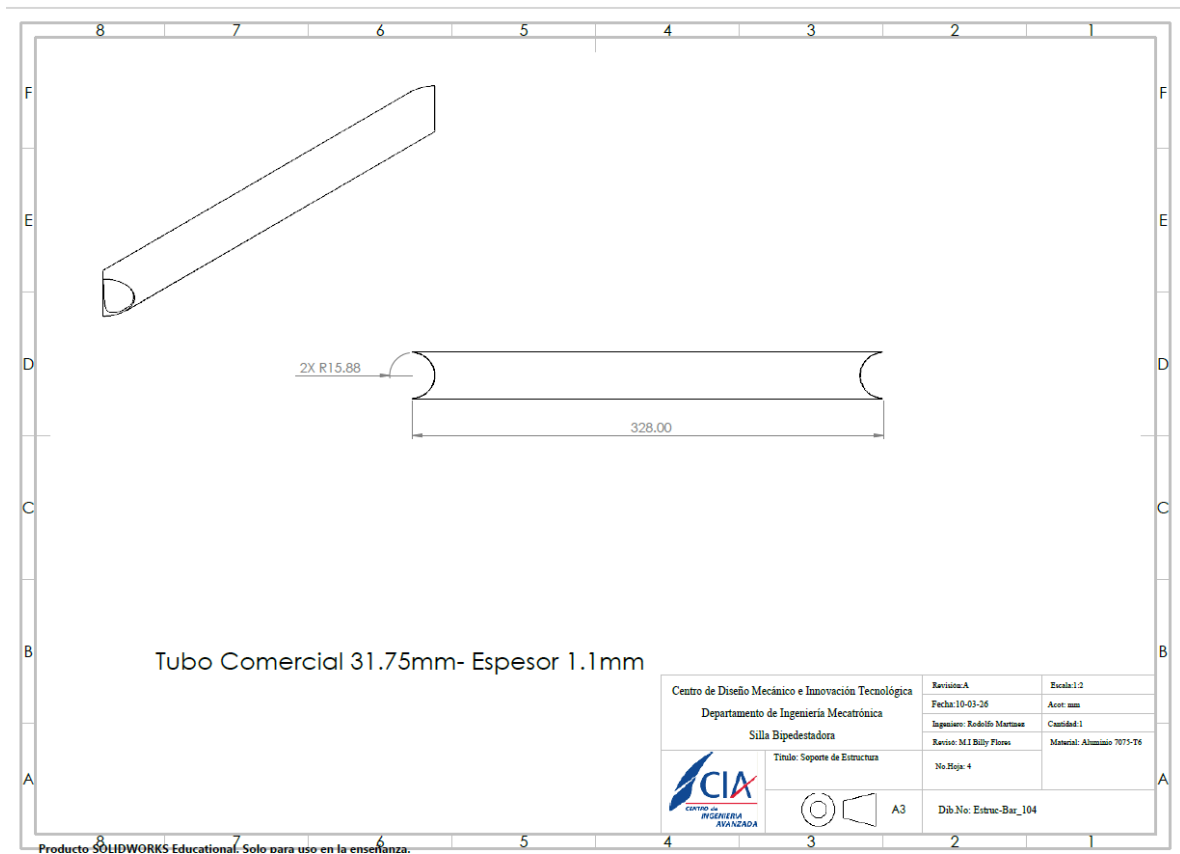


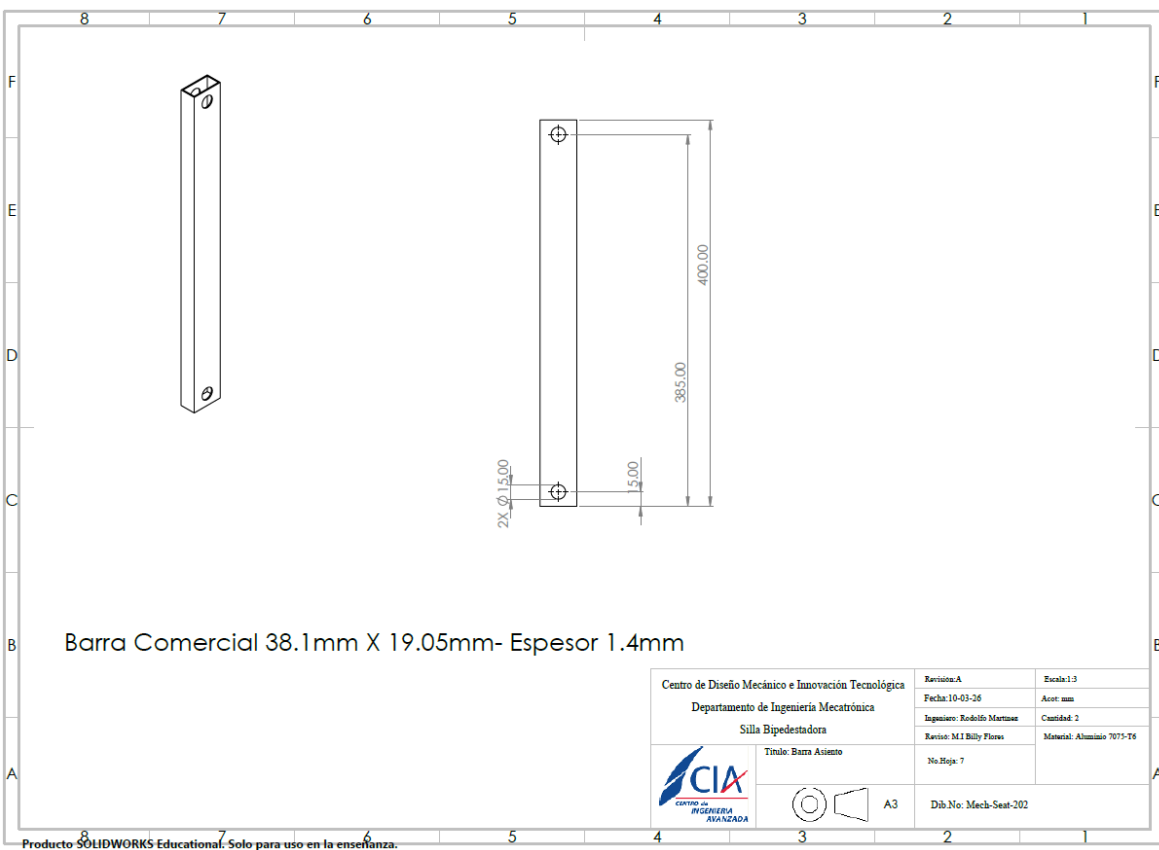
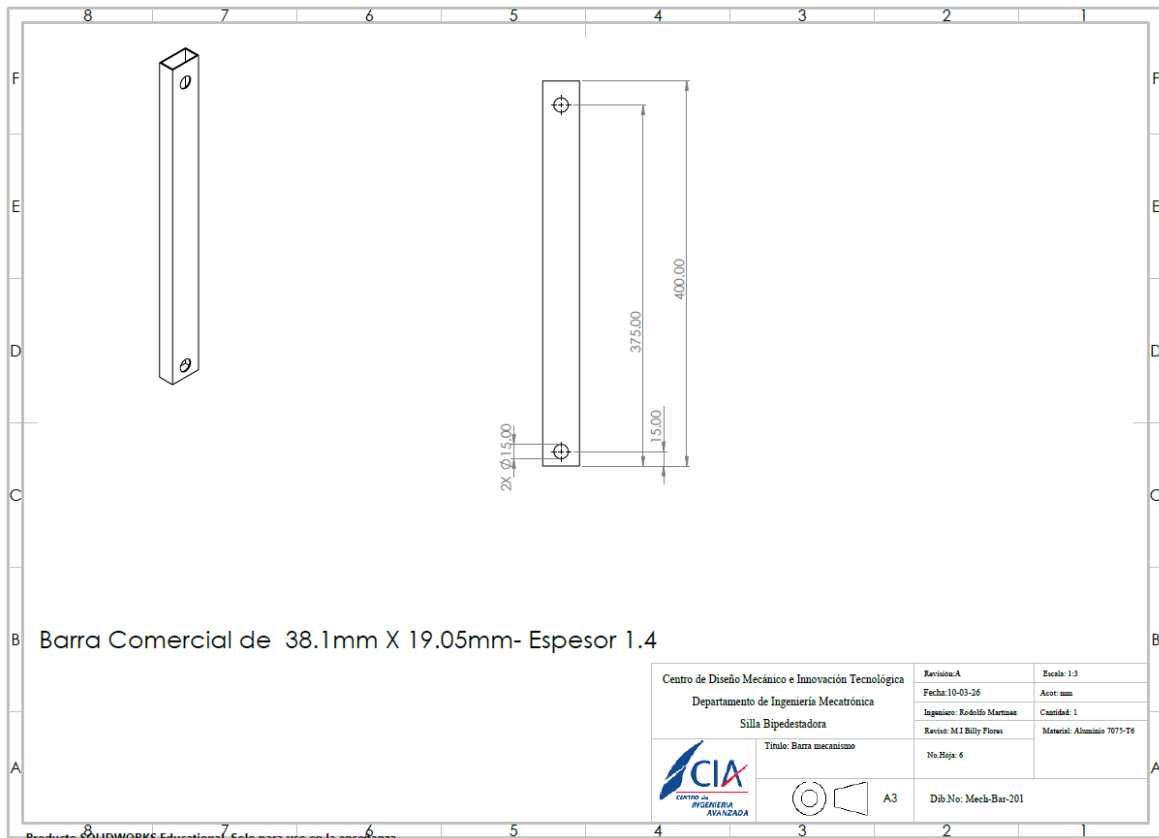


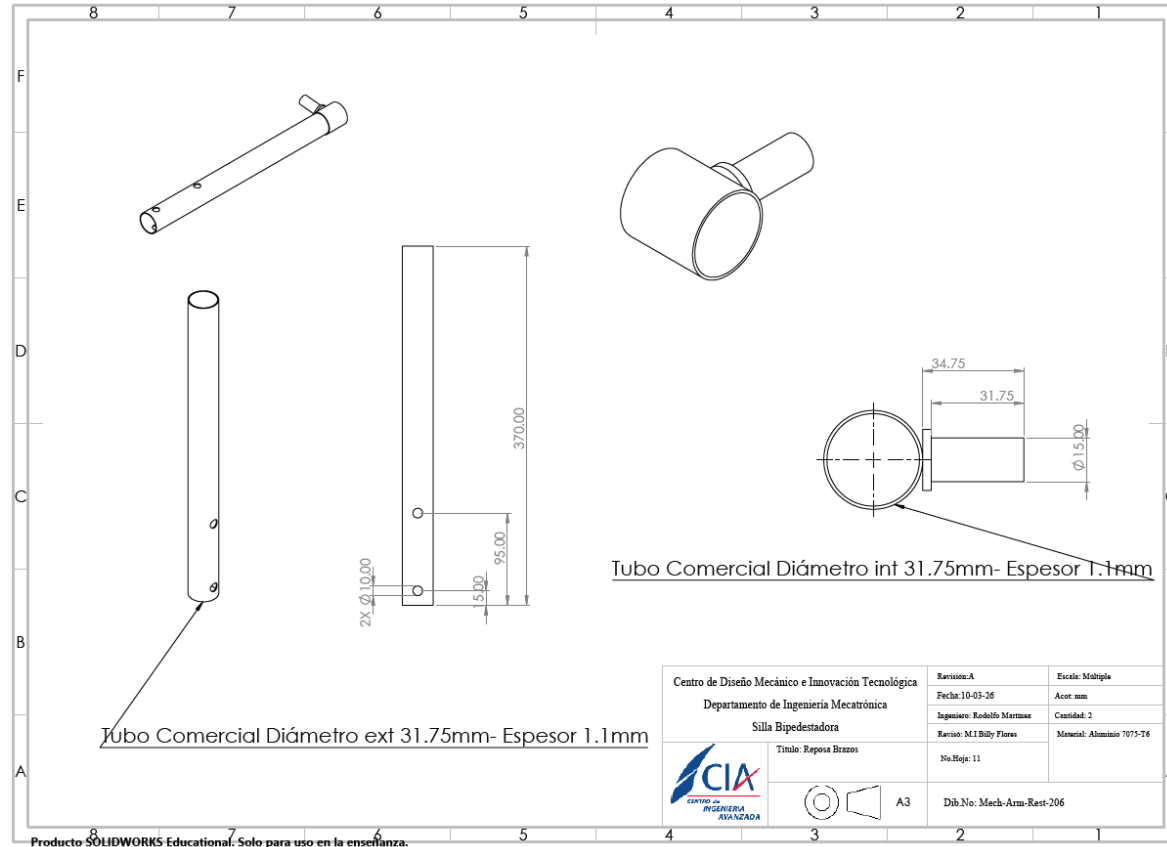
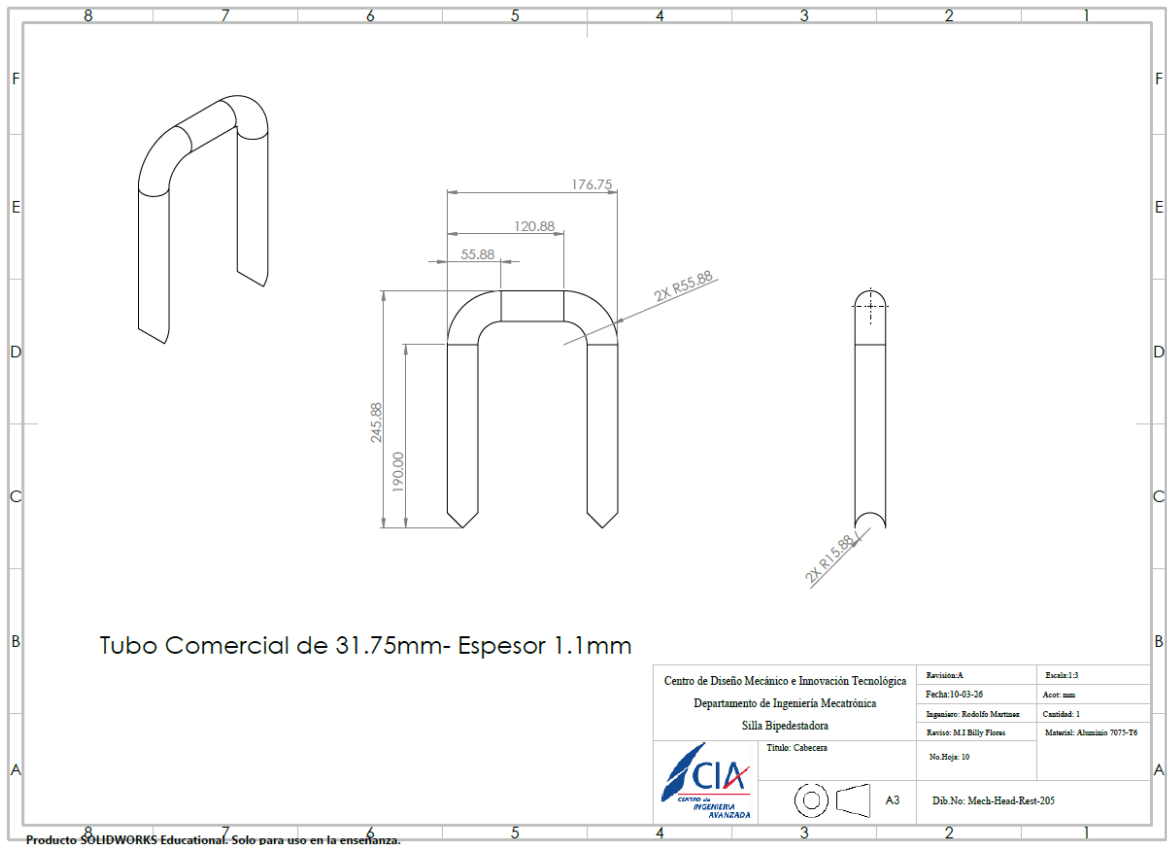
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

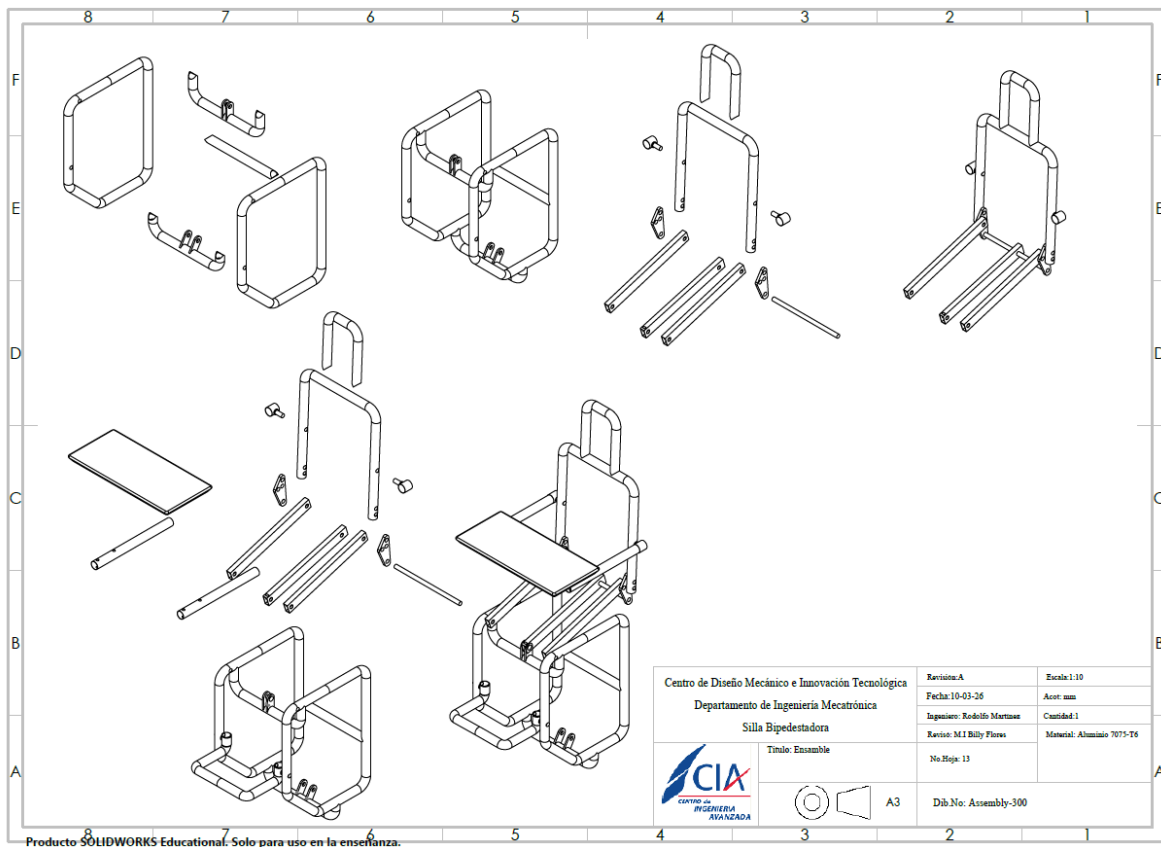
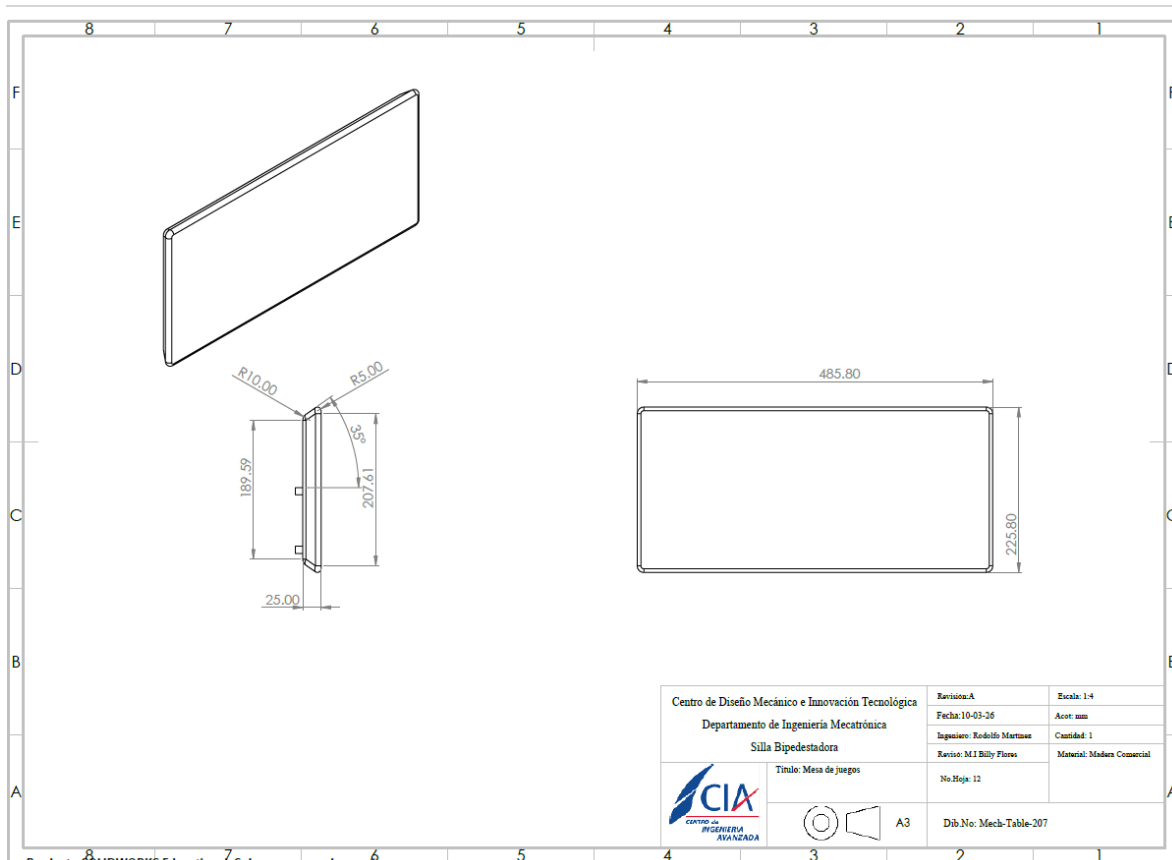


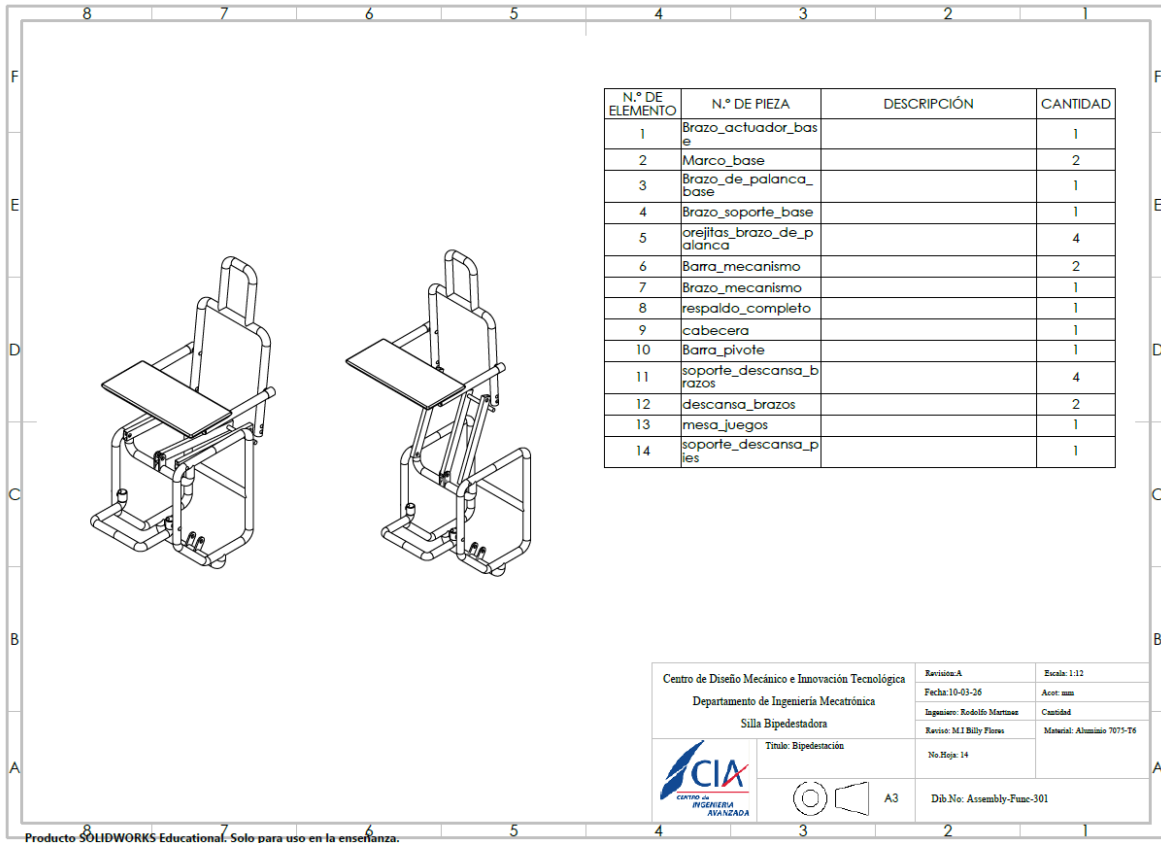
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.











Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.