



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPTO. DE DISEÑO MECÁNICO Y
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIPEDESTADOR INFANTIL

Cristóbal A. Rodríguez P.

José A. Peña T.

Naguanagua, 19 de junio del 2012



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPTO. DE DISEÑO MECÁNICO Y
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIPEDESTADOR INFANTIL

**Trabajo Especial de Grado Presentado ante la Ilustre Universidad de Carabobo para
optar al Título de Ingeniero Mecánico**

Tutor:

Ing. Thalía San Antonio

Cristóbal A. Rodríguez P.

José A. Peña T.

Naguanagua, 19 junio de 2012

A Dios. Todopoderoso.

A mis padres Elisabeth y Luis, gracias a su amor, disfruto de la vida que me condujo a alcanzar esta meta. Orientando y guiando paso a paso, indicándome siempre el camino correcto. Todos mis logros, muy especialmente éste, más que mío es de ustedes.

A mis hermanas y hermano quienes, con su apoyo incondicional, estimularon con sus palabras exactas, el día a día de mis estudios aportando un granito de arena necesario y vital, para exitosa culminación académica.

A mis tíos y tías, siempre leales a mi esfuerzo, acompañando mis etapas hasta ver realizado este sueño.

A mis primos y primas, más que familia, amigos y compañeros de juegos, bromas, quienes se volcaron con mucho ahínco a entender los sacrificios que realicé hasta alcanzar mi título universitario.

A mis maestros y profesores de cada una de mis etapas de estudiante, quienes formaron en mí el ímpetu de superación y grandeza.

A mis compañeros de estudios de ayer y hoy, que en todo momento y con paciencia se unieron en una sola voz a elevar la palabra estudiante hasta mirar más allá de los obstáculos para triunfar.

A mis amigos, vecinos y gente querida, a quienes hasta un saludo cordial y ameno es más que suficiente para darles a entender que siempre estaremos vinculados por la palabra amistad.

A las empresas donde laboré, por permitirme adquirir dentro de ellas herramientas para ampliar mis conocimientos.

Cristóbal Rodríguez

Dedicatoria

Ante todo a dios por darme la fortaleza necesaria para seguir adelante en aquellos momentos difíciles a lo largo de mi vida.

A mi padre Jose, por ser un pilar fundamental en el desarrollo de mi educación, quien me acompañó durante este largo camino de sacrificios y dedicación brindándome su apoyo, amor y cariño incondicional cuando más lo necesitaba. Te Amo.

A mis abuelos Eladio Peña y Julia Zerpa, les dedico este triunfo con todo el amor del mundo ya que gracias a ellos aprendí a ser el ser humano que hoy en día soy, ya que me enseñaron los principios morales y la fe de lucha que me han acompañado a lo largo de este paso que hoy doy en mi vida. Los Amo.

A mis hermanas Cristian y Crisleidy que juntos crecimos aprendiendo a compartir momentos difíciles y felices manteniéndonos siempre unidos para superar las dificultades de esta vida. Las quiero mis niñas.

A mis tíos y primos por formar parte de mi gran familia, brindarme su apoyo, aconsejarme y guiarme.

José Peña

El trabajo de grado que se desarrolló tiene como finalidad aportar una ayuda técnica a la aplicación de las terapias de rehabilitación infantil para aquellos niños que presenten parálisis cerebral (PCI). Se diseñó y construyó un dispositivo de bipedestación para el cual se tomaron en consideración las limitaciones de espacio, medidas antropométricas para niños con edades comprendidas entre 1 a 5 años y requerimientos de terapias realizados por la Lic. Geraldine Chirinos, para así poder generar un dimensionamiento correcto del dispositivo que satisfaga las necesidades planteadas adaptándose a la anatomía de infantes. La validación del diseño se realizó empleando conocimientos de ingeniería, analíticos y manejo de software CAD (INVENTOR). El análisis de los esfuerzos asociados a los cuales se sometieron los diferentes componentes del dispositivo en condiciones reales de operación, se realizaron mediante el uso del software CAD, así se comprobó la resistencia de los diferentes materiales de fabricación, ya que la pieza mas crítica dentro del ensamble del equipo no supera el límite de elasticidad correspondiente a las propiedades mecánicas del material y además el factor de seguridad es cercano a 3, por lo que se considera que el diseño presenta un desempeño adecuado. El material de fabricación seleccionado fue una combinación de madera y acero, debido a las consideraciones y evaluaciones realizadas para obtener un dispositivo económico, ergonómico y liviano. El análisis funcional se obtuvo a través de pruebas físicas en las instalaciones del Instituto Venezolano del Seguro Social (IVSS) de Naguanagua, donde un grupo de especialistas valoró el desempeño del dispositivo durante la ejecución de una sesión terapéutica de bipedestación asistida.

El diseñar y construir un dispositivo de bipedestación que ayude a la rehabilitación de pacientes con PCI, nos deja la satisfacción de verificar que todos los conocimientos adquiridos en nuestra casa de estudios son aplicables para mejorar la calidad de vida del ser humano y retribuirle a la sociedad toda la ayuda prestada durante nuestra formación profesional.

Fig.		pág.
1.1.	Bipedestador-andador.....	5
1.2.	Bipedestador multi-posición.....	6
1.3.	Bipedestador modular.....	7
1.4.	Dispositivo de asistencia para caminar.....	8
2.1.	Beneficios de la bipedestación para el cuerpo humano.....	10
2.2.	Tipos de parálisis cerebral infantil según la zona afectada del cerebro.....	13
2.3.	Tipos de bipedestadores a) Bipedestador estático manual, b) Bipedestador de accionamiento mecánico y c) Bipedestador eléctrico.....	16
2.4.	Planos del cuerpo humano.....	18
2.5.	Bipedestador prono.....	19
2.6.	Puntos del cuerpo humano.....	20
2.7.	Talla en cm de niños entre 0 y 5 años de edad.....	21
2.8.	Peso en Kg de niños entre 0 y 5 años de edad.....	22
2.9.	Talla en cm de niñas entre 0 y 5 años de edad.....	23
2.10.	Peso en Kg de niñas entre 0 y 5 años de edad.....	24
2.11.	Dirección de las fibras en la madera.....	25
4.1.	Medidas antropométricas. (a) Niños de percentil 97 y (b) Niñas de percentil 3.....	32
4.2.	Vista lateral e isométrica del mecanismo de accionamiento acoplado en 60°.....	33
4.3.	Vista lateral e isométrica del mecanismo de accionamiento acoplado en 90°.....	34
4.4.	Dimensiones principales.....	35
4.5.	Numeración de piezas.....	37
4.6.	Ubicación eje de barra principal.....	39
4.7.	Determinación de las Fuerzas que Inciden sobre el Eje.....	40
4.8.	Diagrama de cuerpo libre del eje de las barras pivotes principales.....	41
4.9.	Diagrama de corte y momento.....	42
4.10.	Posición 60° (crítico) eje barras pivotes secundarias.....	44
4.11.	Cargas y Restricciones Aplicadas al Dispositivo Ubicado en 60° de Inclinación.....	44
4.12.	Diagrama de cuerpo libre de la barra fija.....	47
4.13.	Diagrama de corte, momento y Cargas Axiales para la barra fija.....	48
4.14.	Condiciones de borde.....	50
4.15.	Análisis de convergencia para el eje de las barra principales.....	50

4.16	Ubicación del esfuerzo máximo (Mpa).....	51
4.17	Estado de cargas tridimensionales del bipedestador.....	53
4.18	Ubicación de las restricciones en las barras base.....	55
4.19	Gráfico de convergencia para el bipedestador en 90°.....	55
4.20	Ubicación del esfuerzo máximo y el factor de seguridad mínimo.....	56
4.21	Ubicación del desplazamiento máximo.....	57
5.1	Prueba de resistencia al peso en los diversos ángulos de inclinación.....	76
5.2	Bipedestador en posiciones. a) Posición 90°, b) Posición 75° y c) Posición 60°.....	77
5.3	Posicionamiento y ajuste del paciente N° 1 en el equipo de bipedestación.....	78
5.4	Paciente N°1. Terapia de bipedestación.....	78
5.5	Posicionamiento y ajuste del paciente N° 2 en el equipo de bipedestación.....	79
5.6	Paciente N°2. Terapia de bipedestación.....	79

Índice General

	pág.
<i>Agradecimientos</i>	iv
<i>Dedicatorias</i>	v
<i>Índice General</i>	vii
<i>Índice de Tablas</i>	x
<i>Índice de Figuras</i>	xi
<i>Resumen</i>	xiii
CAPÍTULO 1. <i>El Problema</i>	
1.1 INTRODUCCIÓN.....	01
1.2 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	02
1.3 OBJETIVOS.....	03
1.3.1 Objetivo General.....	03
1.3.2 Objetivos Específicos.....	03
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	03
1.5 ALCANCE.....	04
1.6 LIMITACIONES.....	04
1.7 ANTECEDENTES.....	04
CAPÍTULO 2. <i>Marco Teórico</i>	
2.1 BENEFICIOS DE LA BIPEDESTACIÓN.....	09
2.2 CONTROL POSTURAL EN LA BIPEDESTACIÓN.....	11
2.3 PARÁLISIS CEREBRAL INFANTIL (PCI).....	11
2.3.1 Clasificación de la Parálisis Cerebral.....	12
2.3.2 Tratamientos para la Parálisis Cerebral Infantil.....	13
2.4 BIPEDESTADOR.....	16
2.4.1 Bipedestador Prono.....	17
2.5 CONDICIONES PARA EL DISEÑO DE UN BIPEDESTADOR.....	19
2.6.1 Puntos del Cuerpo para el Diseño	19
2.6 TABLAS DE MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS.....	20
2.7 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA MADERA COMO MATERIAL DE FABRICACIÓN.....	25
2.7.1 Tipos de Maderas	26
2.7.2 Propiedades Mecánicas del Cedro.....	27
CAPÍTULO 3. <i>Marco Metodológico</i>	
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	28
3.2 RECOLECCIÓN DE DATOS.....	28
3.3 MATERIALES Y EQUIPOS.....	29

3.4 METODOLOGÍA PROPUESTA.....	29
3.4.1 Primera Fase.....	30
3.4.2 Segunda Fase.....	30
3.4.3 Tercera Fase.....	30

CAPÍTULO 4. *Diseño*

4.1 FACTORES DE DISEÑO.....	31
4.1.1 Medidas Antropométricas.....	31
4.1.2 Espacio Físico Disponible.....	32
4.1.3 Niveles de Inclinación.....	32
4.2 DISPOSITIVO DE BIPEDESTACIÓN.....	33
4.2.1 Mecanismo de Accionamiento.....	33
4.2.2 Dimensiones Principales.....	34
4.2.3 Descripción de Piezas.....	35
4.3 SELECCIÓN DE MATERIALES.....	37
4.3.1 Selección de la Madera.....	38
4.3.2 Selección del Acero.....	38
4.4 CÁLCULO ANALÍTICO DE GEOMETRÍAS SIMPLES.....	38
4.4.1 Eje de Barras Principales (Pieza 20).....	38
4.4.2 Eje de Barras Pivotes Secundarias (Pieza 16).....	44
4.4.3 Barra Fija (Pieza 19).....	47
4.5 VALIDACIÓN DEL PROGRAMA TIPO CAD MEDIANTE CÁLCULO ANALÍTICO	50
4.6 ENSAMBLE GENERAL.....	51
4.6.1 Estado de Fuerzas Críticas para el Ensamble.....	52
4.6.2 Análisis de Esfuerzo.....	54

CAPÍTULO 5. *Construcción y Evaluación*

5.1 PROCESO DE FABRICACIÓN.....	58
5.2 ANÁLISIS DE COSTO DE FABRICACIÓN DEL EQUIPO.....	75
5.3 PRUEBAS FUNCIONALES DEL EQUIPO DE BIPEDESTACIÓN.....	77
5.3.1 Prueba de Resistencia Física del Dispositivo al Peso.....	77
5.3.2 Variación de Inclinación.....	77
5.3.3 Pruebas Funcionales en el Área de Fisiatría del I.V.S.S.....	78
5.4 ACEPTACIÓN DEL EQUIPO DE BIPEDESTACIÓN POR PARTE DE LOS TERAPEUTAS.....	81

CAPÍTULO 6. *Conclusiones y Recomendaciones*

6.1 Conclusiones.....	83
6.2 Recomendaciones.....	84

<i>Referencias Bibliográficas</i>	85
ANEXO A. Grafico A-1 Concentración de Esfuerzos	87
ANEXO B. Planos	88
ANEXO C. Hojas de Evaluación	103

Tabla		pág.
2.1.	Clasificación de Parálisis Cerebral.....	12
2.2.	Valoración Periódica.....	14
2.3.	Propiedades Mecánicas y Físicas del Cedro.....	27
4.1.	Nombre y Descripción de Piezas.....	36
4.2.	Propiedades Mecánicas Acero	38
4.3.	Determinación de la Posición Crítica del Bipedestador.....	54
5.1.	Barras pivotes principales.....	58
5.2.	Ejes de Barras pivotes principales y secundarias.....	59
5.3.	Barra fija.....	60
5.4.	Barras base.....	61
5.5.	Barras pivotes secundarias.....	62
5.6.	Soportes de cadera y pecho.....	63
5.7.	Soportes movilizadores tipo L.....	64
5.8.	Pletinas laterales.....	65
5.9.	Soportes lateral.....	66
5.10.	Pletinas para apoyo trasero.....	67
5.11.	Apoyo para espalda y glúteos.....	68
5.12.	Soporte de las rodillas.....	69
5.13.	Apoyos de las rodillas.....	70
5.14.	Soporte de los pies.....	71
5.15.	Elementos de sujeción para pies.....	72
5.16.	Eje superior.....	73
5.17.	Lista de Costos de Materiales.....	74
5.18.	Comparación de Costos.....	75
5.19.	Pacientes de Terapia de Bipedestación.....	77
5.20.	Evaluación del Dispositivo.....	80

En este capítulo se presenta el planteamiento del problema, los objetivos específicos que se deben cumplir en función de alcanzar el objetivo general, justificación, limitaciones y alcances. La problemática se abordó mediante el estudio de los antecedentes relacionados al tema de investigación.

1.1 INTRODUCCIÓN

En el campo de la medicina específicamente en el área de fisioterapia existen tratamientos para mejorar la calidad de vida de aquellos niños que presentan parálisis cerebral infantil (PCI), lo cual les ocasiona la pérdida parcial o total de la capacidad de locomoción que poseen los seres humanos para mantener una postura erguida (bipedestación).

En los niños la PCI puede presentarse durante el periodo prenatal, perinatal o postnatal, trayendo como consecuencias un desequilibrio motor, deficiencia del control motriz, disminución del tono muscular, pérdida de calcio en el sistema óseo, problemas renales y circulatorios. Existen otros trastornos asociados como lo son: la alteración del control postural, alineamiento musculoesquelético y fuerza muscular inadecuada, que se reflejan en la coordinación de movimiento del cuerpo y dificultades para mantener una posición bípeda.

Para las instituciones y las personas especializadas en el tratamiento de PCI es de gran importancia contar con el equipamiento y las áreas de trabajo adecuadas, para así garantizar una evolución favorable de los pacientes a tratar. Entre las terapias para contrarrestar los efectos de la parálisis cerebral se encuentra la terapia física de bipedestación asistida, en la cual se coloca al paciente en un dispositivo que lo ayuda a mantener una posición erguida apoyado en cuatro puntos importantes del cuerpo humano: pecho, cadera, rodillas y pies.

Con este trabajo de grado se quiere generar, empleando conocimientos y herramientas de ingeniería un equipo de bipedestación infantil funcional y económico que cumpla con los requerimientos de terapia, para así lograr mejorar el rendimiento en la ejecución de terapias de bipedestación en aquellos niños de bajos recursos que acuden al I.V.S.S de Naguanagua.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La bipedestación aporta al ser humano equilibrio y dominio visual del medio que lo rodea, permitiéndole una mejor orientación y percepción en el espacio de sus actividades motoras. Además existen otros aportes referentes a la salud, tales como la conservación de niveles normales de calcio en los huesos, oxigenación del sistema circulatorio, entre otros.

La pérdida de la capacidad de bipedestación es causada por lesiones a nivel neurológico, músculo esquelético o la combinación de ellas. Estas pueden presentarse antes, durante y después del embarazo debido a derrames cerebrales, bajo peso al nacer, asfixia mecánica entre otras. En los niños la lesión más frecuente es la PCI, la cual afecta al sistema neurológico y ocasionándoles dificultades para caminar, permanecer de pie y déficit en las funciones de locomoción. El tratamiento de recuperación frecuentemente empleado para este tipo de anomalías es la fisioterapia, la cual busca mejorar la calidad de vida de los pacientes a través de la estimulación física.

En la actualidad en Venezuela existe una población infantil significativa que presenta problemas de PCI. Para contrarrestar los efectos negativos que conlleva este padecimiento existen diversas instituciones como el I.V.S.S que junto a sus profesionales en el área de fisiatría ofrecen diferentes terapias de rehabilitación como lo es la terapia física de bipedestación asistida para la cual se dispone de pocos equipos (bipedestadores). Razón que motiva a plantear “el diseño y construcción de

un dispositivo de bipedestación infantil” económico, eficiente y que se adapte a la problemática planteada.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Diseñar y construir un bipedestador infantil.

1.3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Estudiar la bibliografía referente al diseño de bipedestadores.
- ✓ Diseñar un dispositivo de bipedestación infantil utilizando una herramienta computacional basada en el método de elementos finitos.
- ✓ Seleccionar materiales de comercialización nacional para la construcción del bipedestador.
- ✓ Construir un prototipo a escala del bipedestador según los requerimientos de diseño.
- ✓ Realizar un estudio económico tecnológico al diseño planteado.
- ✓ Realizar pruebas funcionales al prototipo.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El propósito de este proyecto es diseñar un bipedestador infantil para el uso de los niños que acuden a terapias en el área de pediatría del IVSS ubicado en Naguanagua. Con el desarrollo de este trabajo de investigación, se pretende mejorar la calidad de vida de los niños que carezcan de la capacidad de bipedestación y optimizar la evolución de las terapias practicadas a los infantes. Otro factor importante de esta investigación es el análisis de costo, que permita proveer a los pacientes un

dispositivo funcional, práctico y económico, ya que existe una comercialización limitada de estos dispositivos debido a sus altos precios en el mercado.

1.5 ALCANCE

La investigación se llevará a cabo tomando como limitante para el diseño del bipedestador infantil las medidas antropométricas venezolanas de tallas y peso de infantes con edades comprendidas entre 1 a 5 años de edad y su. Para garantizar la resistencia mecánica del dispositivo, se le realizará un análisis mecánico por medio de simulaciones a través de un programa basado en el método de los elementos finitos y posteriormente una serie de pruebas al prototipo construido a escala.

1.6 LIMITACIONES

Durante el desarrollo de esta investigación se debe tomar en cuenta como posibles dificultades que podrían afectar directamente el desarrollo de nuestro trabajo aspectos como: dificultad de acceso a los antecedentes, la disposición de un taller de fabricación adecuado y del personal calificado para la fabricación del prototipo.

1.7 ANTECEDENTES

La sección que se presenta a continuación comprende el estudio bibliográfico sobre los diferentes dispositivos ortopédicos relacionados con los lineamientos del trabajo de investigación, lo cual se realizó con el propósito de fundamentar los argumentos que se emplearán durante el desarrollo de esta investigación.

Daisuke *et al*, (2007) [1], desarrollaron un dispositivo para la bipedestación (ver figura 1), y consta de una base principal de cuatro conexiones paralelas (1) con actuadores más pequeños (2) y rígidos de vínculos más ligeros que otros bipedestadores en general, además de un posicionamiento controlado en varios

ángulos y un apoyo principal (3). El trabajo está dirigido en gran parte al diseño de un bipedestador que permita a personas mayores a 65 años a caminar o mantenerse de pie, ya que esto facilita la realización de actividades que solo efectúa el cuerpo humano cuando se está de pie, y su diseño se validó mediante la simulación por ordenador y experimentos utilizando un prototipo. A pesar de que el diseño no se dirige a infantes aporta para el desarrollo de este trabajo de grado un mecanismo de barras funcional que servirá como diseño base, ya que cuenta con un sistema interesante de barras paralelas que permiten una postura estable de la persona que se somete a la terapia.

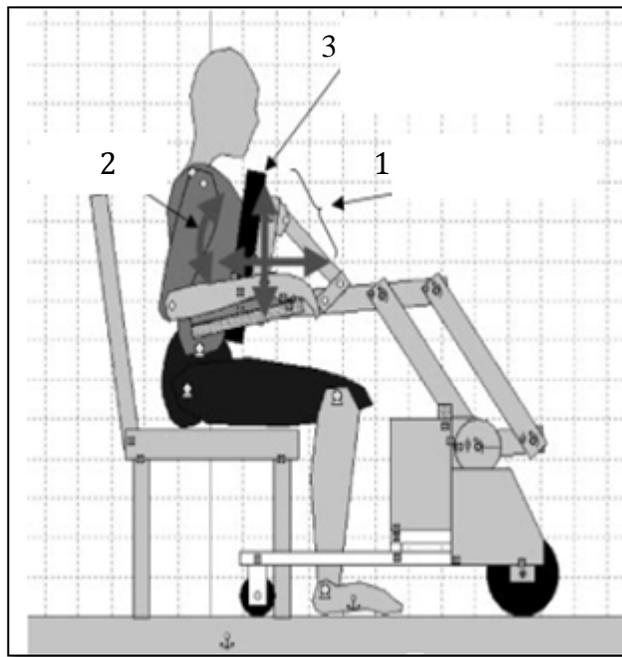


Figura 1.1. Bipedestador-andador [Daisuke *et al* (2007)]

Jacques Harnois, (2006) [2], realizó el diseño y construcción de un equipo de bipedestación desmontable multi-posiciones (ver figura 2) eficaz, adaptable y resistente, además de generar un bipedestador en el cual se pueda apoyar boca arriba al usuario (posición supina), verticales e inclinadas. La invención realizada consta de

ruedas (44), un soporte para la cabeza (34) unido a una barra pivoteada (36) para variar el ángulo de inclinación de la cabeza, un soporte para el pecho (24) acoplado a bandas para el soporte lateral del cuerpo (80), los brazos se apoyarán en dos barras paralelas cortas (26), el tronco se mantendrá fijo a través con apoyos laterales (82), las rodillas se mantendrán rígidas por medio de barras cortas (84) y finalmente se completara la postura bípeda del paciente a través de una base rectangular (28) de apoyo para los pies. El sistema completo puede pivotar por medio de la barra (62) para conseguir la variación del ángulo de inclinación del cuerpo completo. Este diseño aporta al desarrollo del trabajo de grado ya que muestra el funcionamiento de diferentes mecanismos y sistemas de sujeciones.

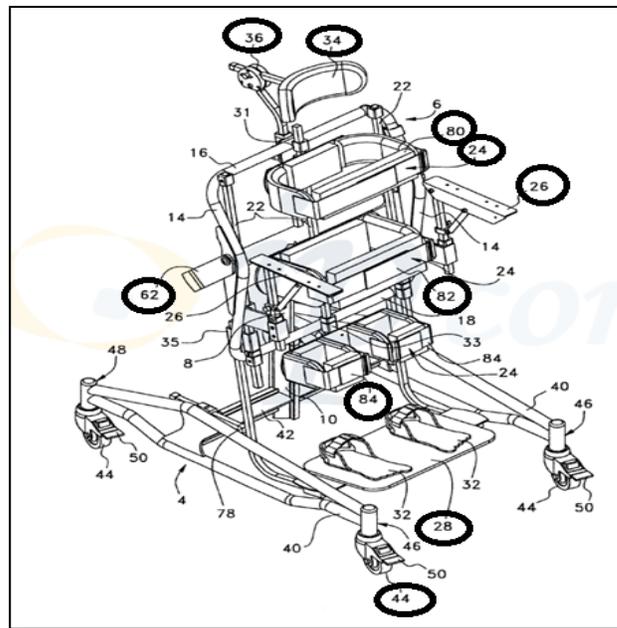


Figura 1.2. Bipedestador multi-posición [Jacques Harnois, (2006)]

Tholkes *et al*, (2005) [3], diseñaron un bipedestador modular el cual puede ser adaptado para múltiples usos como sesiones de rehabilitación, ejercitación para caminar, mesa de trabajo y para comer. Este equipo cuenta con un apoyo para la espalda (28) unido a una barra vertical (60) que se une a una barra curva (70) que pivotea respecto a la barra corta (72), esta se encuentra acoplada a una camisa

cilíndrica (76) dentro de la cual se acciona un tornillo (74) ejerciendo un giro a la palanca (75) y así pasar al paciente de la posición sentada a la posición bípeda donde se encontrara apoyado en su pecho con un soporte rectangular (118), las rodillas se sujetarán con un soporte acolchado (102) y los pies se apoyarán sobre la base inferior (89), además para el traslado del dispositivo cuenta con ruedas (36), así como una mesa de trabajo (110) sujeta a la barra horizontal (112) y el conjunto curvo (10). Aporta el uso de mecanismos de sujeción y estructura de barras permite obtener un diseño sencillo y resistente.

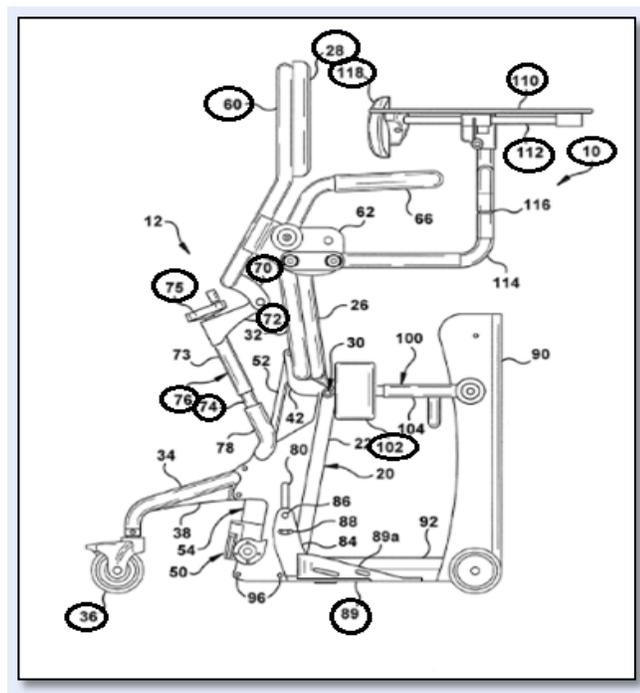


Figura 1.3. Bipedestador modular [Tholkes *et al.*, (2005)].

Larry Mullholand, (2005) diseñó un dispositivo de asistencia para caminar dirigido a personas con dificultades de control postural y deficiencia en las piernas para la marcha o estar de pie (ver figura 4). Obteniendo un dispositivo que consta de un eje horizontal (46) en la parte superior para apoyar el pecho, unido a la barra vertical (18) que varía la altura según el tamaño del usuario que además contiene un sujetador

curvo para la espalda (52) a nivel medio, una guía para las caderas (102), un asiento auxiliar (12) y un conjunto de ruedas (44) para el traslado del paciente al momento de caminar. Con esta invención se obtuvo un dispositivo que aportará libertad de movimiento a los pacientes que presentes dificultades leves para estar de pie, ayudando a fortalecer, ejercitar y desarrollar el sistema psicomotriz de la persona, de igual forma proporciona información para el desarrollo del presente trabajo de grado en el uso y configuraciones de barras.

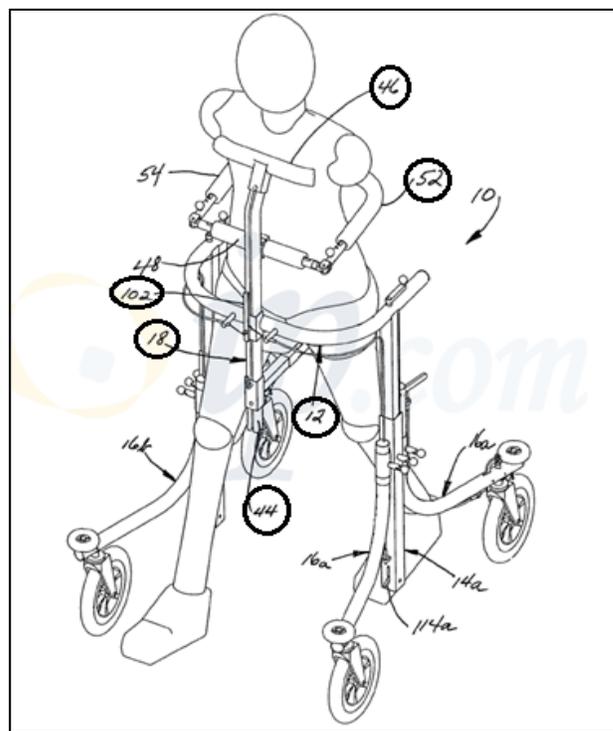


Figura 1.4. Dispositivo de asistencia para caminar [Larry Mullholand., (2005)].

En el presente capítulo se muestran las bases teóricas que sustentan el diseño y construcción de un bipedestador infantil, incluyendo las fuentes bibliográficas revisadas para el estudio del problema.

También, se da una breve explicación acerca de los beneficios que brinda la bipedestación al cuerpo humano y su influencia sobre el control postural. Además se explica brevemente la parálisis cerebral infantil como la anomalía más frecuente que afecta la capacidad del ser humano para mantener una postura erguida. Asimismo se hace referencia a los equipos de bipedestación empleados y las condiciones para el diseño de los mismos. Por último se expone un estudio acerca del comportamiento resistivo de la madera.

2.1 BENEFICIOS DE LA BIPEDESTACIÓN

La capacidad de bipedestación, es parte esencial en la vida del ser humano ya que contribuye al desarrollo del individuo y al equilibrio de su cuerpo, aportándole al mismo una serie de beneficios entre los cuales encontramos: mejora los sistemas circulatorio, respiratorio, renal y cardiovascular, debido al alto contenido de oxígeno en el torrente sanguíneo, por lo cual los diferentes órganos internos del cuerpo humano ofrecen un mejor funcionamiento. Al estar de pie se estimula la estructura ósea por la acción del peso, conservando así niveles normales de calcio en los mismos. Además produce un impacto psicológico positivo sobre la autoestima del individuo (ver figura 2.1).

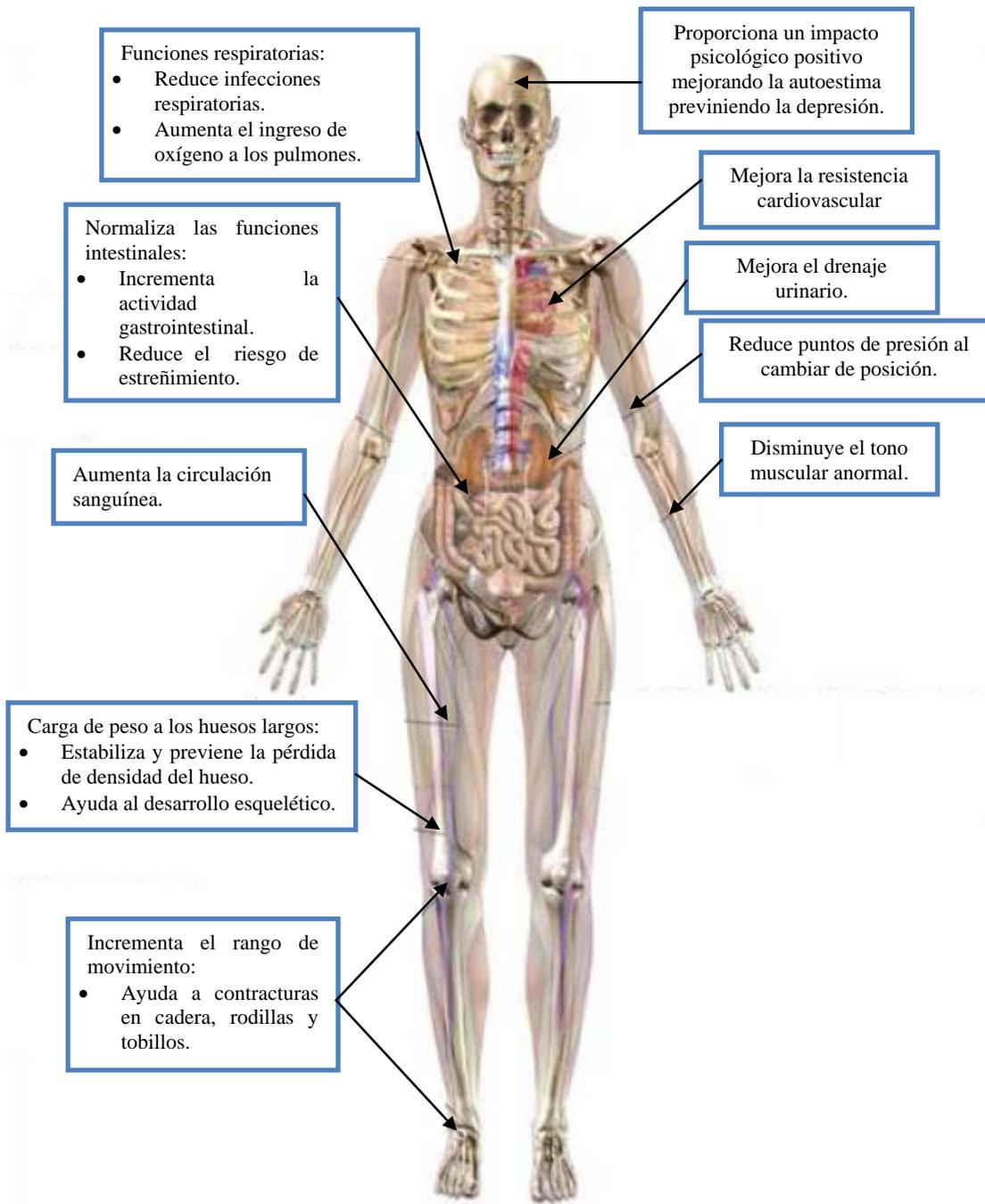


Figura 2.1 Beneficios de la bipedestación para el cuerpo humano [5].

2.2 CONTROL POSTURAL EN LA BIPEDESTACIÓN

La estabilidad postural o equilibrio es definido como la habilidad de mantener la proyección del centro de masa entre los límites de la base de sustentación, el control postural requiere una compleja interacción de los sistemas músculo esquelético y nervioso. Para mantener la verticalidad intervienen los sistemas encargados de la percepción y procesamiento de los estímulos externos (sistema vestibular, somatosensorial y visual). Si hablamos de un modelo estrictamente biomecánico se producen presiones intraabdominales, que proporcionan un estímulo a través del tejido muscular que a su vez estabiliza el tronco [10].

2.3 PARÁLISIS CEREBRAL INFANTIL (PCI)

En la actualidad existe un consenso en considerar la parálisis cerebral (PC) como un grupo de trastornos del desarrollo del movimiento, aunque sea un trastorno motor también lleva asociados otros de tipo sensorial, perceptivo y psicológico, causantes de limitación de las actividades diarias del ser humano, que son atribuidos a una agresión no progresiva sobre un cerebro en desarrollo, en la época fetal o primeros años de vida.

La PCI tiene una amplia definición por los diferentes profesionales e instituciones enfocadas al trabajo de rehabilitación en dicha área, entre las cuales resalta la definición realizada por la fundación Bobath, como un trastorno del movimiento y de la postura, debido a un defecto o lesión del cerebro inmaduro. La lesión no es progresiva y causa un deterioro variable en la coordinación de la acción muscular, con la resultante incapacidad del niño para mantener posturas y realizar movimientos coordinados [6].

2.3.1 Clasificación de la Parálisis Cerebral.

Identificar la PC es de utilidad para la orientación del tipo de tratamiento así como para el pronóstico evolutivo. La clasificación se puede realizar en función de dos criterios (ver tabla 2.1): según el tipo de PC definida por el trastorno motor predominante, y según la parte del cuerpo afectada que refiere la extensión del daño cerebral.

Tabla 2.1 Clasificación de Parálisis Cerebral.

Criterio	Clasificación	Descripción
Según el trastorno motor predominante	Espasticidad	Aumento del tono muscular, por lo que hay movimientos exagerados y poco coordinados. Afecta al 70% u 80% de los pacientes.
	Atetosis	Genera movimientos incoordinados, lentos y no controlables. Estos movimientos afectan a las manos, pies, brazos y piernas.
	Ataxia	Sentido defectuoso de la marcha y descoordinación motora.
	Mixto	Es la combinación más frecuente entre la espasticidad y atetosis.
Según la parte del cuerpo afectada	Hemiparesia	Se encuentra afectado uno de los dos lados del cuerpo.
	Diparesia	La mitad inferior del cuerpo está más afectada que la parte superior.
	Cuadriparesia	Los cuatro miembros del cuerpo están paralizados.
	Paraparesia	Afectación de los miembros inferiores del cuerpo.
	Monoparesia	Se encuentra afectado un sólo miembro del cuerpo.
	Triparesia	Se encuentran afectados tres miembros del cuerpo.

Los trastornos asociados a la PCI afectan parte del cerebro del niño ocasionándole deficiencia motriz según sea el grado de la lesión neurológica, que conlleva a la afectación de las extremidades superiores e inferiores parcial o totalmente (ver figura 2.2).

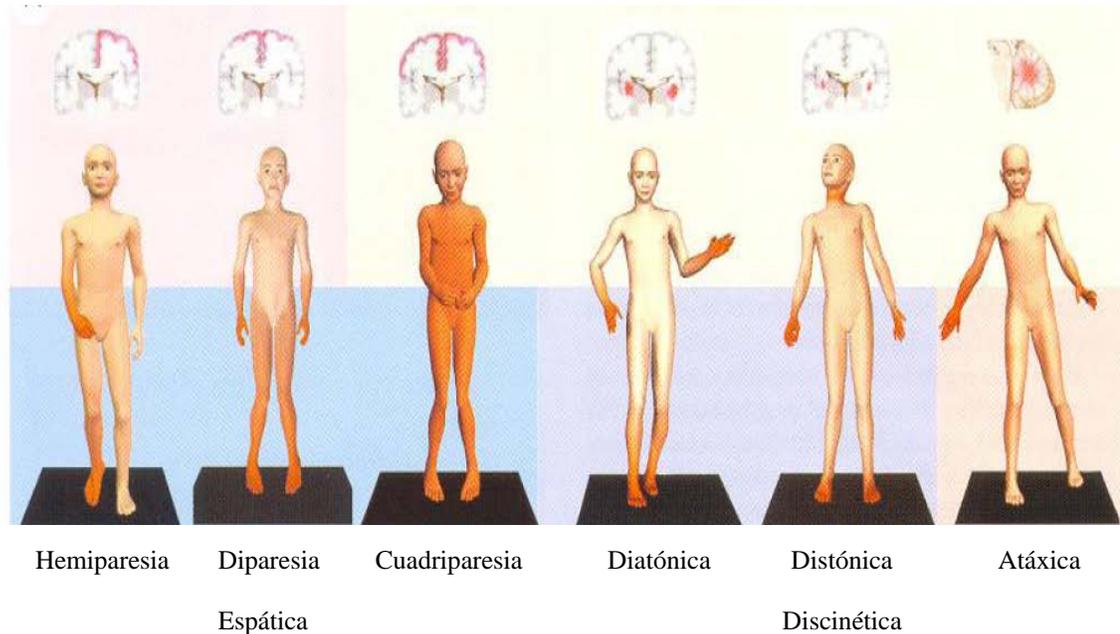


Figura 2.2 Tipos de parálisis cerebral infantil según la zona afectada del cerebro [7].

2.3.2 Tratamiento para la Parálisis Cerebral Infantil

La Parálisis cerebral no tiene tratamiento pero, con una atención adecuada que le permita mejorar los movimientos, que estimule el desarrollo intelectual y permita alcanzar el mejor nivel de comunicación posible y que estimule la relación social, puede llevar a una vida plena y enteramente satisfactoria.

Los familiares son miembros importantes del equipo de tratamiento y deben involucrarse íntimamente en todos los pasos de la planificación, toma de decisiones y la administración de los tratamientos. Los padres deben estar entrenados en como realizar los ejercicios de rehabilitación por lo tanto deben tener conocimiento sobre el

programa de tratamiento domiciliario, el desarrollo psicomotor normal del niño, las técnicas de higiene y alimentación. Diversos estudios han demostrado que el apoyo familiar y la determinación personal son dos de los factores más importantes que predicen cuales de los individuos con PC lograrán alcanzar las metas propuestas a largo plazo. El dominar habilidades específicas, como el caminar correctamente, es un enfoque importante del tratamiento diario, pero la meta final debería ser ayudar a las personas afectadas a evolucionar a la edad adulta de manera satisfactoria y conseguir la máxima independencia en la sociedad.

El niño debe ser controlado por un médico especialista en rehabilitación y tiene que ser valorado en forma periódica (ver tabla 2.2), en caso de presentar alteraciones neurológicas, hasta que sea necesario de acuerdo al programa establecido, con la finalidad de realizar un seguimiento evolutivo de las lesiones cerebrales que el infante pueda presentar.

Tabla 2.2. Valoración Periódica.

Control sugerido	Mensual	Cada dos meses	Trimestral
edad	0 – 6 meses	6- 12 meses	2 años o mas

Entre las terapias más comunes para el tratamiento de la PC encontramos las siguientes:

✓ **Terapia Física**

Normalmente, la terapia física comienza en los primeros años de vida, inmediatamente después de haberse realizado el diagnóstico. Se utilizan combinaciones específicas de ejercicios para conseguir tres metas fundamentales:

- Prevenir el deterioro o debilidad de los músculos por la falta de uso (atrofia).

- Evitar la contractura, en la cual los músculos se inmovilizan en una postura rígida y anormal.
- Mejorar el desarrollo motor del niño.

La contractura muscular es una de las complicaciones más frecuentes, se produce cuando los músculos se contraen debido a un tono muscular anormal y a la debilidad asociada a la enfermedad, limitando el movimiento de las articulaciones y puede causar la pérdida de las habilidades motoras adquiridas previamente. La terapia física independiente o combinada con aparatos ortopédicos (bipedestadores), puede prevenir esta complicación mediante el estiramiento de los músculos afectados.

Un programa que se utiliza normalmente en la terapia física, que logra mejorar el desarrollo motor del niño, es la técnica Bobath. Este programa consiste en inhibir los esquemas de movimiento patológico e influir en el tono muscular para facilitar el movimiento. Otro método de terapia física es la realización de patrones, que se basan en el principio de las destrezas motoras y deben enseñarse en la misma secuencia en la que se desarrollarían normalmente durante el crecimiento del niño. Sin considerar la edad del niño, se le enseñan movimientos elementales como impulsarse para ponerse de pie y gatear antes de enseñarle a caminar.

✓ **Terapia ocupacional**

El terapeuta ocupacional debe enseñarle a realizar destrezas tales como: comer, vestirse o usar el baño, aumentando la confianza del niño en sí mismo y su autoestima.

✓ **Logopedia**

Si existen problemas para comunicarse, el logopeda debe identificar las dificultades específicas y trabajar para superarlas mediante un programa de ejercicios.

2.4 BIPEDESTADOR

El bipedestador también llamado estabilizador postural, es un equipo de rehabilitación utilizado para reducir o evitar las alteraciones posturales secundarias manteniendo la extensibilidad de las extremidades inferiores, para mejorar la densidad mineral ósea y promover un desarrollo músculo esquelético adecuado. El bipedestador debe proporcionar una correcta alineación anatómica del tronco y las extremidades inferiores.

En el mercado existe variedad de bipedestadores (Ver figura 2.3) que pueden ser de accionamiento mecánico, manual o eléctrico, ofreciendo posiciones en la que el cuerpo está apoyado sobre el pecho y vientre (posición prono) o en la que el cuerpo está apoyado sobre la espalda (posición supina), siendo instancias intermedias para acercar al niño a la verticalidad, para que tanto la estructura ósea como muscular asuman paulatinamente la posición vertical.



Figura 2.3 Tipos de bipedestador . a) Bipedestador estático manual, b) Bipedestador de accionamiento mecánico y c) Bipedestador eléctrico [13].

Generalmente en los bipedestadores estáticos, las extremidades inferiores y la parte baja del tronco están sujetas con firmeza mediante cinchas acolchadas. El bipedestador puede estar encima de una base con ruedas, lo que permite al niño ser transportado a distancias cortas mientras está en bipedestación. A menudo, son

necesarios ortesis para mejorar la alineación del tobillo y del pie facilitando una posición erguida [13].

Existe una variada gama de equipos de bipedestación según el requerimiento de la rehabilitación que se le aplicará al infante. Por lo cual nos enfocaremos en los bipedestadores prono estáticos ya que éste es el equipo que se requiere diseñar para el I.V.S.S.

2.4.1 Bipedestador Prono

El bipedestador prono frecuentemente se usa para niños que no pueden mantener la postura vertical. Las sujeciones más comunes en estos dispositivos se encuentran en el tronco, pelvis y extremidades inferiores. Ellos a su vez podrían variar su ángulo de inclinación dependiendo de la tolerancia del niño y de los objetivos del fisioterapeuta.

El plano frontal mostrado en la figura 2.4, al ser inclinado puede variar la distribución de peso que el paciente soporta en sus extremidades inferiores, desde un 50 a un 90%. Cuando el ángulo del plano frontal se encuentra a 90° respecto a la horizontal, la mayor parte del peso recae sobre las extremidades inferiores. Si el ángulo de inclinación es inferior a 90° , el peso del cuerpo se distribuye entre el tronco y las piernas. Al ser la inclinación menor a 50° , los objetivos terapéuticos pueden involucrar cambios de soporte de peso en las extremidades superiores durante las actividades de alcance y manipulación. La actividad de la musculatura extensora del cuello y columna variará significativamente según la inclinación. El esfuerzo muscular para mantener la cabeza estable será menor con una inclinación que se aproxime a la verticalidad.

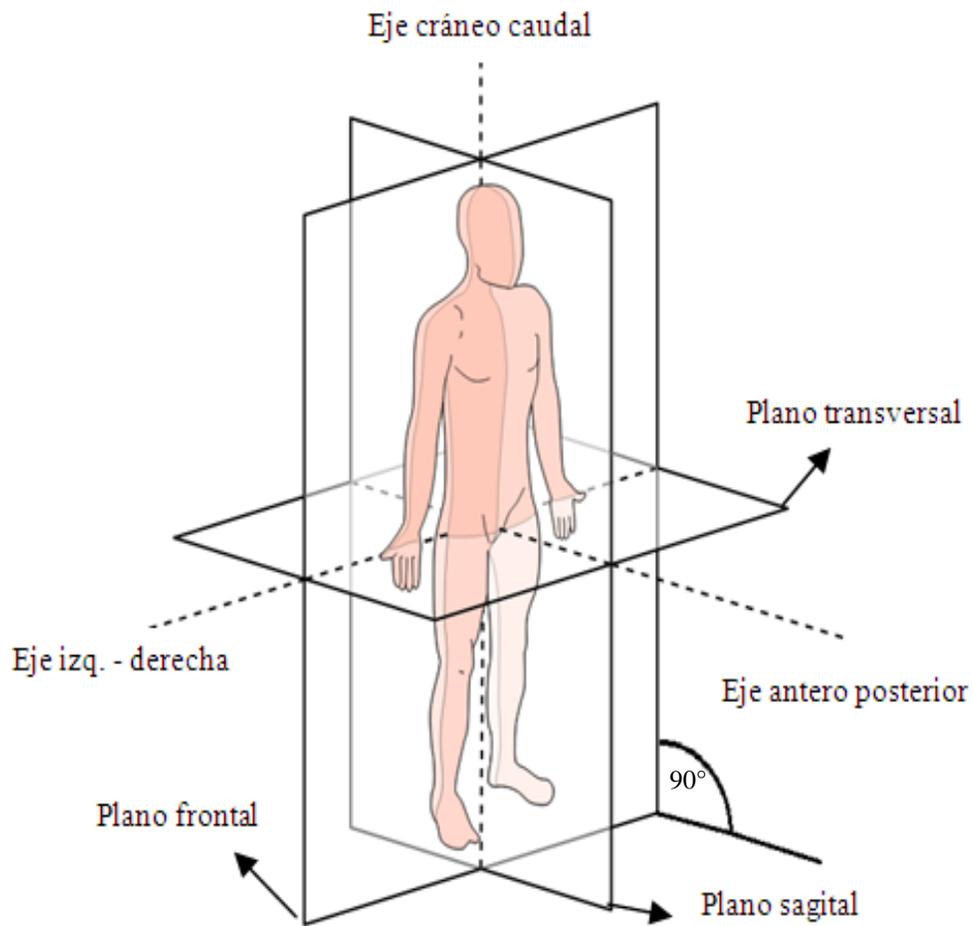


Figura 2.4. Planos del cuerpo humano.

En la figura 2.5 se aprecian dos modelos de bipedestadores prono existentes en el mercado. En estos dispositivos es de gran importancia para que el niño mantenga la bipedestación que la base de soporte este perfectamente alineada, para evitar que la carga no empeore una posible deformidad en los pies [8].



Figura 2.5. Bipedestadores prono [7].

2.5 CONDICIONES PARA EL DISEÑO DE UN BIPEDESTADOR PRONO.

Para el diseño de un bipedestador, se debe tomar en cuenta tanto los requerimientos terapéuticos como los puntos de apoyo, esenciales del cuerpo para mantener una posición bípeda.

2.5.1 Puntos del Cuerpo para la Bipedestación.

En la figura 2.6 se presentan los principales puntos del cuerpo humano tomados en cuenta para el diseño de un dispositivo de bipedestación, estos facilitan adoptar una correcta postura erguida en el bipedestador. Los puntos blandos de apoyo y sujeción están ubicados en la espalda (1) y el pecho (2), ayudando a mantener el control sobre la parte superior del cuerpo. Mientras que los puntos duros indispensables de sujeción y apoyo están ubicados en la cadera (3), rótula (4) y pies (6), ayudando a mantener el control de la parte inferior del cuerpo. La sujeción de la rótula debe utilizarse de tal manera que la rodee sin ejercer presión sobre la misma, para evitar lesiones y no forzar a los niños que tienen dificultades para lograr total extensión.

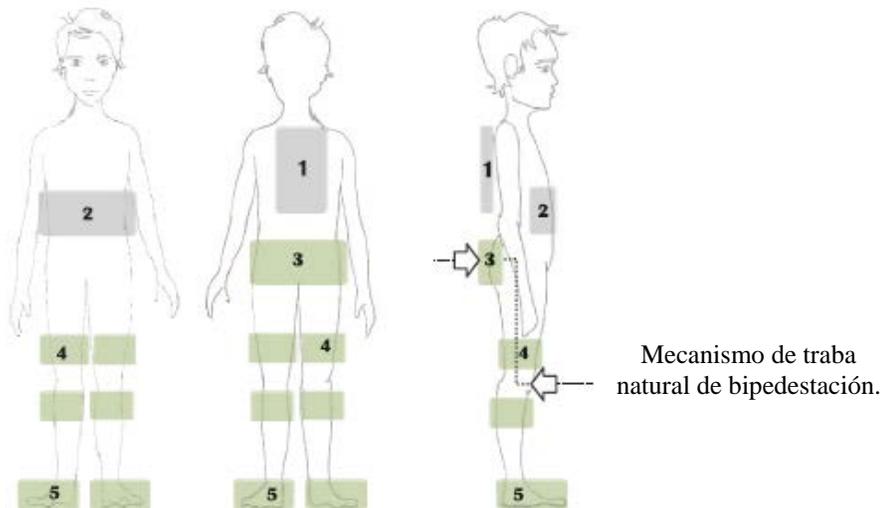


Figura 2.6. Puntos del cuerpo humano [5].

2.6 TABLAS DE MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS

Los gráficos de medidas antropométricas que se muestran desde la figura 2.7 a la 2.10, comprenden un estudio acerca del crecimiento y desarrollo físico, practicado a la sociedad venezolana por FUNDACREDESA, durante el periodo de 1976 a 1996, quienes obtuvieron los gráficos que describen el comportamiento de la variación de talla y peso según el sexo en un intervalo de edades comprendido entre 0 y 6 años, donde el límite mas bajo es el percentil 3 y el mas alto el percentil 97.

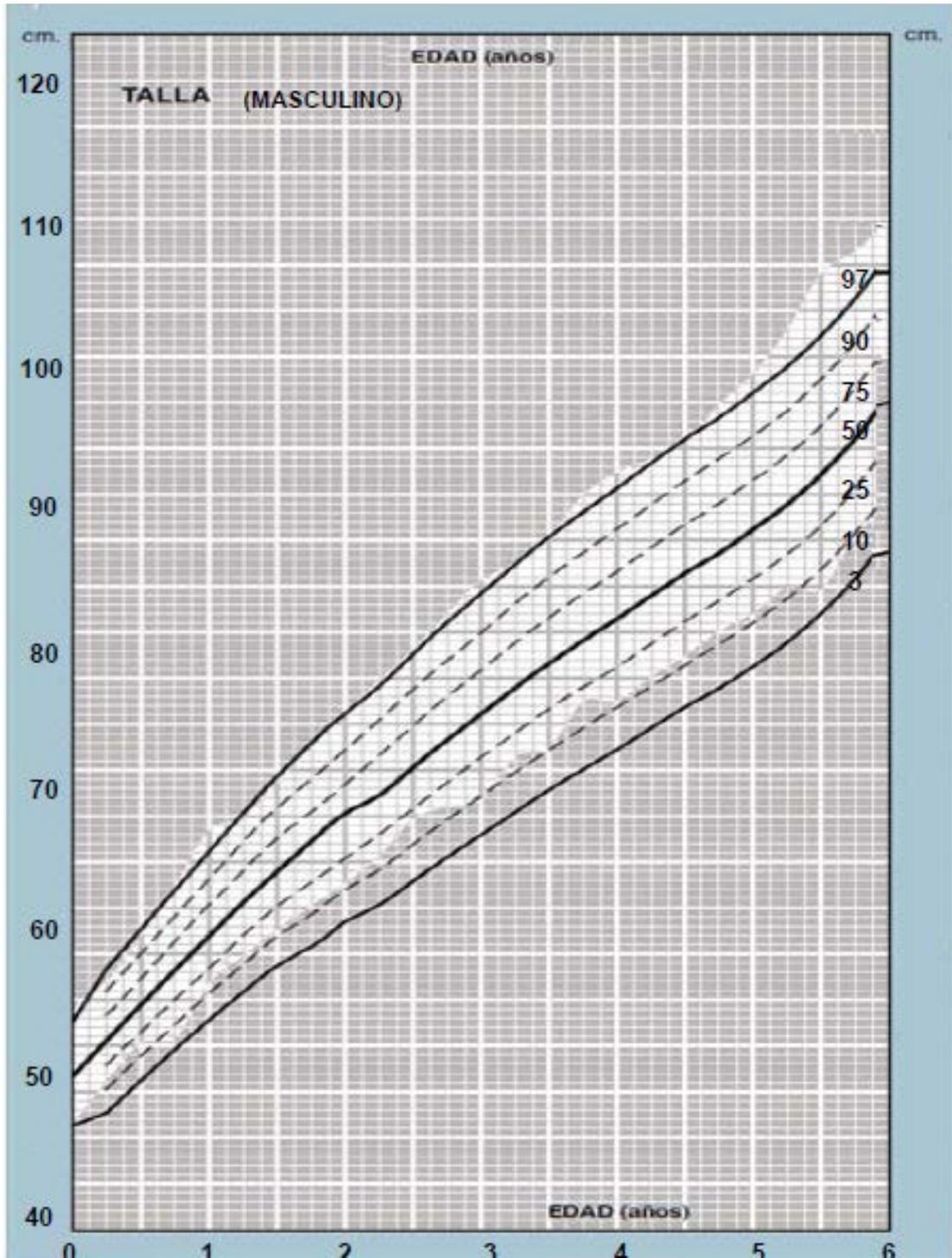


Figura 2.7 Talla en cm de niños entre 0 y 6 años de edad.
Fuente.FUNDACREDESA.proyecto Venezuela 1993.

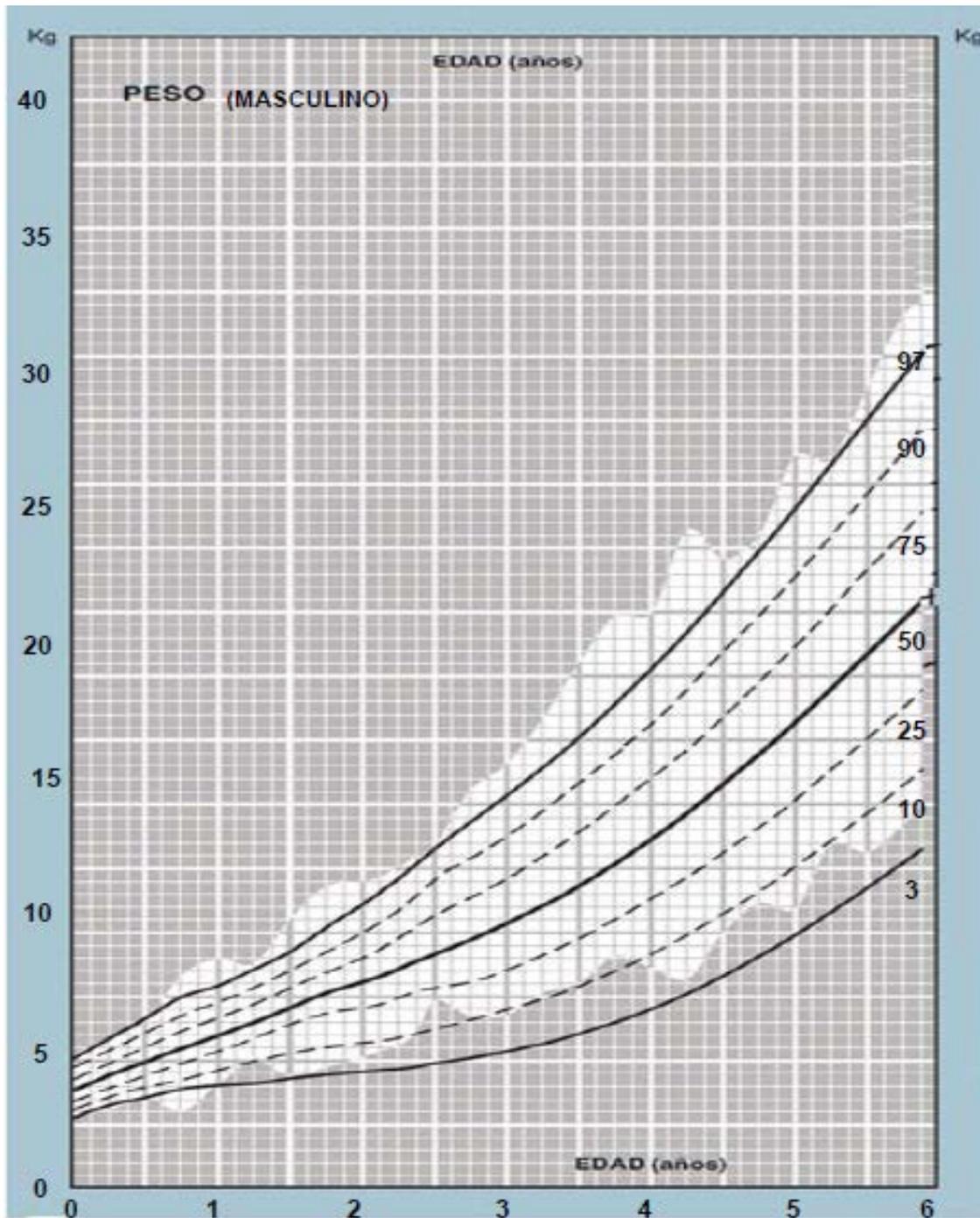


Figura 2.8 Peso en kg de niños entre 0 y 6 años de edad.
Fuente.FUNDACREDESA.proyecto Venezuela 1993.

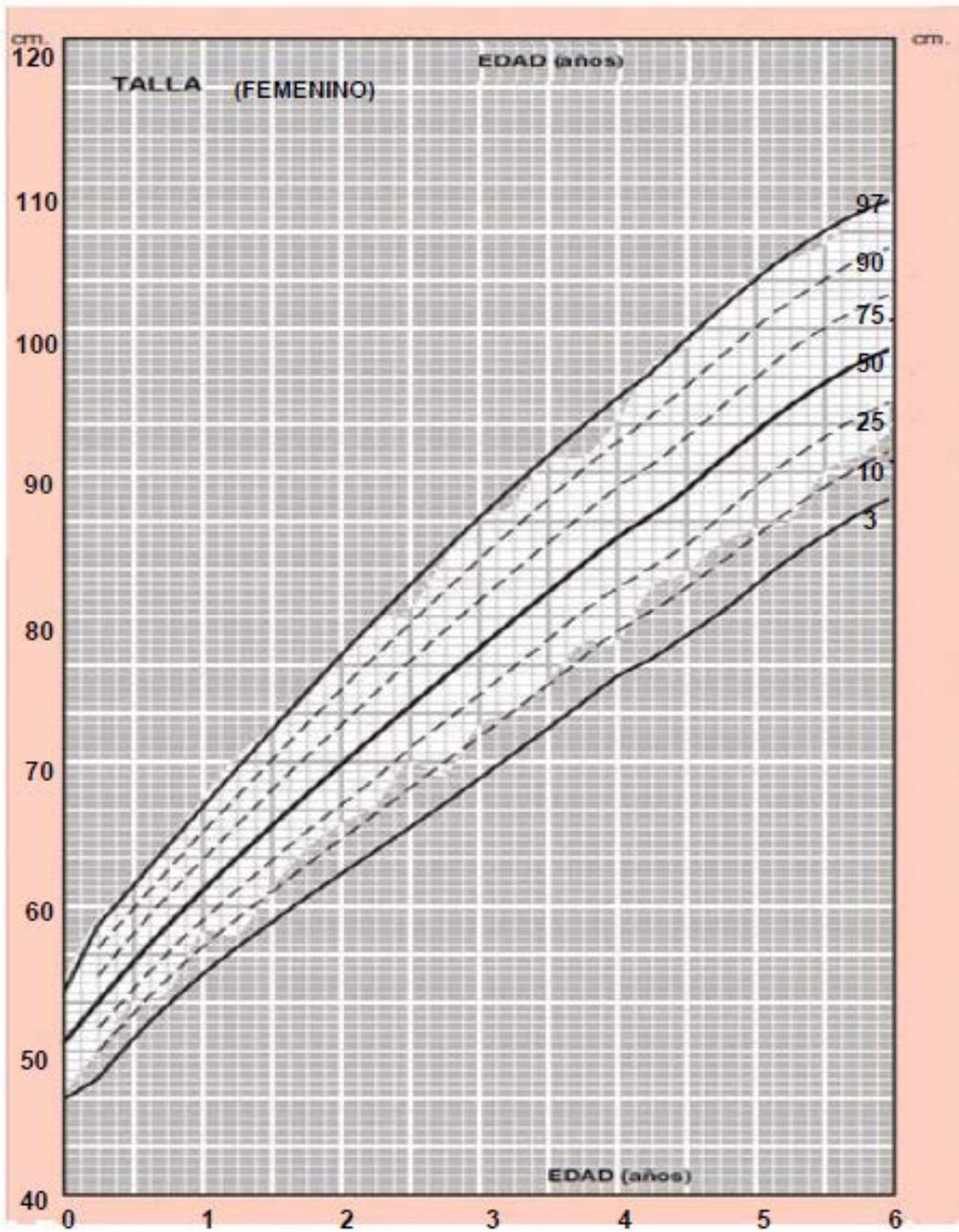


Figura 2.9 Talla en cm de niñas entre 0 y 6 años de edad.
Fuente.FUNDACREDESA.proyecto Venezuela 1993.

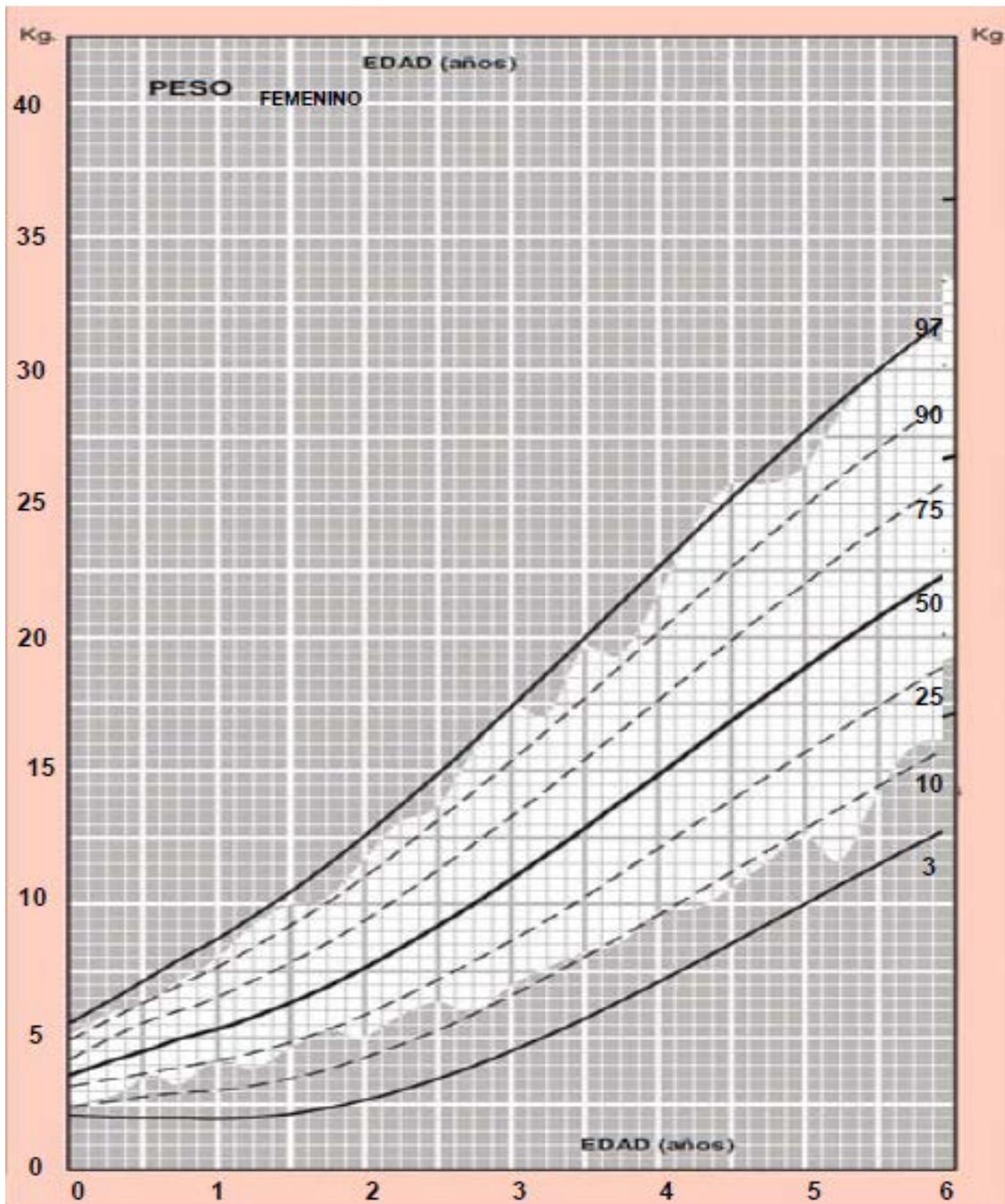


Figura 2.10 Peso en kg de niñas entre 0 y 6 años de edad.
Fuente.FUNDACREDESA.proyecto Venezuela 1993.

2.7 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA MADERA COMO MATERIAL DE FABRICACIÓN.

En el mercado actual existe gran variedad de bipedestadores fabricados con diversos materiales, entre los cuales se encuentran los aceros, aleaciones de aluminio, polímeros, maderas entre otros. Considerando los bajos costos, la alta maquinabilidad y la disponibilidad en el mercado nacional, la madera representa la opción más viable para la elaboración de prototipos.

La madera es un material vivo el cual posee propiedades anisotrópicas, afectando significativamente su resistencia y deformación a diferencia de otros materiales como el acero que poseen propiedades isotrópicas. En la figura 2.11 se muestran las direcciones de las fibras que interactúan en la madera.

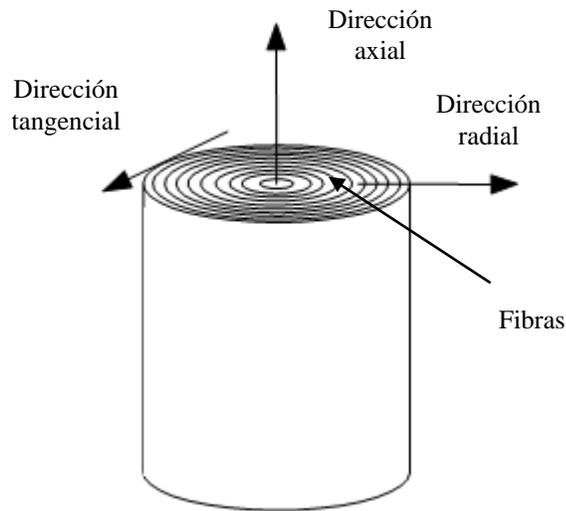


Figura 2.11. Dirección de las fibras en la madera.

La resistencia que ofrece la madera es variable, pero según estudios realizados se ha determinado que dependiendo de los esfuerzos a los cuales será sometida, se podría disponer de la posición más favorable para obtener un mayor rendimiento del

material. La madera en la dirección axial o paralela a la fibra posee mayor resistencia a esfuerzos de compresión y tracción, que a esfuerzos cortantes. En dirección radial o perpendicular a la fibra posee mayor resistencia a esfuerzos cortantes que en la dirección axial mientras que la dirección tangencial brinda mayor resistencia a la torsión [14].

Las propiedades mecánicas de la madera varían con la disminución del contenido de humedad, disminuyendo la resistencia e incrementando el módulo de elasticidad. La madera bajo carga constante aumenta su deformación con el tiempo; pero en un clima o atmósfera constante las deformaciones plásticas solo exceden a las deformaciones elásticas en un 50 % en 20 años. Por lo tanto son importantes los controles de humedad ya que pueden llevar a una reducción de la capacidad resistente de la pieza.

2.7.1 Tipos de Maderas

La madera es y ha sido el material fundamental en la realización de muebles. Ahora bien, muchas son las variedades que la naturaleza ofrece, si bien no todos los árboles producen un material que reúna las características esenciales para ser trabajado en el arte de la ebanistería (especialización de la carpintería en la construcción de muebles), existe una selección en la que se incluyen aquellas maderas más empleadas en el mundo del mobiliario en Venezuela las cuales se presentan a continuación:

- ✓ Caoba: El color de la caoba es el rosa claro aunque se oscurece con el tiempo, llegando a ser de un color pardo rojizo, que varía entre muy oscuro y medio. Es por lo general dura y compacta, de grano fino y apretado, con vetas largas. La madera de caoba se utiliza para la realización de la ebanistería de mejor calidad, para muebles de lujo, para reproducciones, así como para revestimientos.

✓ Cedro: el nombre de cedro se da a varias maderas de olor aromático. Su color es semejante a la caoba, pero su textura es más gruesa, pesa menos y algunas veces es resinosa. Se ca rápidamente, es muy estable, duradera, resiste tanto los ataques fúngicos como las termitas y por su blandura se trabaja bien. Por su aspecto es decorativo y por las características anteriormente mencionadas, es una madera muy apreciada que se usa en la fabricación de muebles, en la talla y en revestimientos lujosos y es la madera tradicional de las fundas de cigarros. El cedro es la madera de mayor accesibilidad en el país, debido a su alta comercialización, fácil mecanizado y bajo costo, en comparación con la caoba y el roble.

2.7.2 Propiedades Mecánicas del Cedro

Las propiedades mecánicas de este tipo de madera se consideran de medias a bajas, clasificándose como madera estructural del grupo C ya que posee densidades entre 400 y 550 kg/m³. [17]

En la tabla 2.3 se muestran las propiedades mecánicas y físicas del cedro bajo condiciones de árbol verde y seco al aire al 12% de humedad.

Tabla 2.3 . Propiedades mecánicas y físicas del cedro

Condición	Densidad (g/cm ³)	Flexión estática			Compresión	
		S _y (kg/cm ²)	S _u (kg/cm ²)	E (GPa)	Paralela	Perpendicular
					S _v (kg/cm ²)	S _v (kg/cm ²)
verde	0,5	236,2	367	61,1	194	21,7
Seco al aire	0,42	417,6	552,6	71	312,8	49,9

CAPÍTULO 3

Marco Metodológico

En este capítulo se presenta el tipo de investigación que se va a realizar, las técnicas de recolección de datos que se emplearán, materiales y equipos necesarios para el desarrollo de la investigación y por último, se propondrá una metodología para el diseño y construcción del bipedestador infantil.

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El proyecto se puede definir como tipo exploratorio, ya que consiste en la búsqueda de una solución mecánica para actividades de rehabilitación física del tronco y extremidades inferiores del cuerpo humano, a través de un dispositivo práctico de accionamiento manual. La investigación implica explorar, describir, proponer una alternativa de solución y determinar cuál de las alternativas es la más adecuada para luego llegar a la etapa de construcción del dispositivo y posteriormente realizar estudios de factibilidad y funcionalidad que garanticen un óptimo desempeño del bipedestador.

3.2 RECOLECCIÓN DE DATOS

Para el diseño y la construcción del bipedestador infantil se emplearán técnicas de recolección de datos que permitan el aporte previo de información la cual orientará el trabajo y reforzará los conocimientos necesarios para el inicio del proyecto, a continuación se especificarán las técnicas a aplicar:

- Observación: Se realizará un análisis visual del entorno del problema del cual se pondrán obtener datos acerca del comportamiento del fenómeno que puedan ayudar en el desarrollo de la investigación.
- Recopilación y análisis bibliográfico: la información se basará en publicaciones recientes tales como trabajos científicos, revistas, fuentes confiables de textos en la

Internet, que aporten información necesaria y relevante para la orientación del diseño del bipedestador.

3.3 MATERIALES Y EQUIPOS

Los instrumentos que serán implementados para el diseño y construcción del proyecto son los siguientes:

- Computador: con el uso de este equipo será posible acceder a la información digital disponible en internet, así como realizar simulaciones y estudios del diseño para maximizar el uso de recursos que garanticen la calidad de funcionamiento.
- Material bibliográfico como libros, revistas entre otros, y material humano como lo son el tutor académico, médicos fisioterapeutas, pacientes y personal que nos oriente en la fase de construcción del equipo.
- Software de diseño CAD, herramienta con la cual se realizarán los diseños del bipedestador y evaluaciones a través de simulaciones de los mismos para la selección de material, optimización y mejoras.
- Herramientas y máquinas de taller como torno, fresadora, lijadora entre otras, que contribuyan al mecanizado y fabricación del dispositivo.

3.4 METODOLOGÍA PROPUESTA

Para el desarrollo de este proyecto se definieron una serie de fases que se deben ir ejecutando en el orden presentado para lograr cumplir con los objetivos planteados. Donde la primera fase comprende la investigación, la segunda fase contiene el diseño y las indagaciones sobre la disponibilidad en el mercado de los materiales de fabricación. Por último en la tercera fase se construirá el prototipo y se realizarán pruebas funcionales.

3.4.1 Primera Fase

Se iniciará con la formulación del problema, luego se emprenderá un proceso de búsqueda, revisión y análisis de información, a fin de conocer la interacción de las partes del cuerpo humano respecto a los dispositivos de rehabilitación basado en trabajos anteriores de diseño de bipedestador. En esta etapa se recolectará también la información acerca de los valores antropométricos necesarios para el predimensionamiento del dispositivo, además de realizar observaciones en sesiones terapéuticas aplicadas a niños con parálisis cerebral, consultas con médicos fisioterapeutas y fisiatras.

3.4.2 Segunda Fase

Esta constituida por el diseño, que comprende proponer una solución a la problemática, además del cálculo y selección de los elementos mecánicos del sistema a través del uso del programa de diseño asistido por computadora sometiendo al modelo a simulaciones computacionales en la cual se evaluará bajo condiciones de operaciones, a medida que avance esta etapa se ubicarán los componentes que integran el dispositivo para garantizar su disponibilidad en el mercado y se analizará la factibilidad a fin de estimar los costos de fabricación que permitan determinar la rentabilidad del proyecto y agilizar su fase de construcción.

3.4.3 Tercera Fase

Al finalizar la etapa de diseño, se adquirirán los componentes seleccionados y se construirán los elementos diseñados para su posterior ensamblaje. Luego de ensamblar el dispositivo se realizarán pruebas bajo condiciones reales de trabajo con pacientes de contexturas que estén dentro del rango de los parámetros de diseño, todo esto a fin de evaluar su correcto funcionamiento. Con los resultados obtenidos y su respectivo análisis, surgen las conclusiones y recomendaciones del presente proyecto.

Esta etapa comprendió la fase de diseño del dispositivo de bipedestación, con la finalidad de obtener un equipo de rehabilitación que se ajustara a las necesidades planteadas. Además se realizaron los cálculos resistivos pertinentes a los elementos más exigidos que integran el dispositivo.

4.1 FACTORES DE DISEÑO

Durante el proceso de dimensionamiento del dispositivo de bipedestación se tomaron en consideración todas aquellas limitantes correspondientes a la anatomía de los pacientes, espacios físicos disponibles y requerimientos de las terapias sugeridos por la Lic. Geraldine Chirinos.

4.1.1 Medidas Antropométricas

El diseño del bipedestador se realizó para asistir a niños en un rango de edades de 1 a 5 años. Se recurrió a la investigación realizada por la institución FUNDACREDESA. La referencia que se utilizó para las condiciones extremas de diseño fueron las medidas de peso y talla mínima perteneciente al percentil 3, para niñas de 1 año de edad, y para condiciones máximas las medidas de talla y peso perteneciente al percentil 97 para niños de 5 años de edad.

En la figura 4.1 se aprecia las dimensiones de talla, altura del pecho, altura de la cadera y altura de las rodillas para niños de 5 años percentil 97 (talla 117 cm, altura del pecho 85 cm, altura de la cadera 63 cm y altura de la rodilla 34 cm) y niñas de 1 año percentil 3 (talla 68 cm, altura del pecho 49 cm, altura de la cadera 37 cm y altura de la rodilla 20 cm). El peso para un niño de 5 años percentil 97 es de aproximadamente 25 kg y el de una niña de 1 año percentil 3 es de 5 kg.

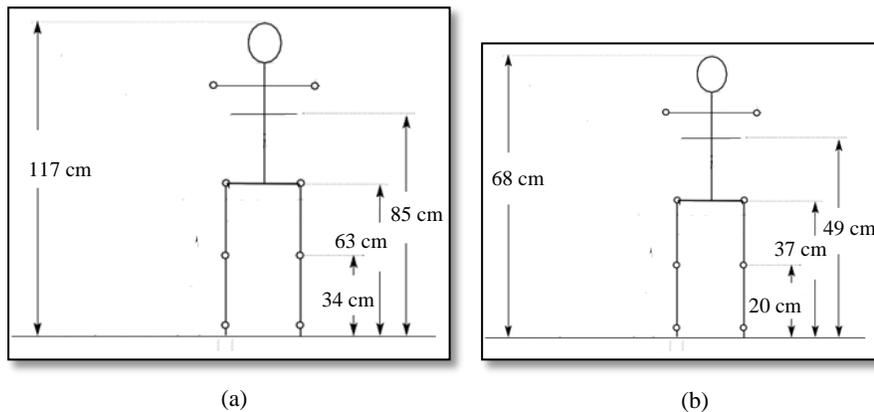


Figura 4.1. Medidas antropométricas. (a) Niños de 5 años percentil 97 y (b) Niñas de 1 año percentil 3.

4.1.2 Espacio Físico Disponible

Para el dimensionamiento del diseño del dispositivo, se consideró el espacio físico que éste debe ocupar dentro del consultorio médico, como se muestra a continuación:

- Espacio disponible sobre el piso (1 m²).
- Altura máxima del equipo 1,5 m

Estas consideraciones de espacio se deben a la presencia de numerosos equipos de rehabilitación en el interior del consultorio (pelotas, colchonetas, andaderas, cilindros, juguetes).

4.1.3 Niveles de Inclinación

Se estimó que el grado de lesión cerebral presentada por los niños, requiere que el equipo incluya los diferentes niveles de inclinación respecto a la horizontal:

- ✓ 60° para niños sin control motor en el tronco.
- ✓ 75° para niños con poco control del tronco.
- ✓ 90° para niños con control moderado del tronco.

4.2 DISPOSITIVO DE BIPEDESTACIÓN

Se desglosó la concepción del diseño en ítems que facilitarían la comprensión de la solución que se aportó. La cual comprende el mecanismo de accionamiento, las dimensiones principales y descripción de cada uno de los elementos que integran el dispositivo.

4.2.1 Mecanismo de Accionamiento

Al finalizar el análisis de las condiciones de diseño y operación, se definió el principio de accionamiento del bipedestador. En las figuras 4.2 y 4.3 se observa que el mecanismo consta de 3 barras de las cuales dos poseen la libertad de movimiento rotacional (barra principal y barra secundaria) mientras que la restante está fija. La barra principal y secundaria pivotan en los puntos A y B respectivamente, estos están ubicados en la barra fija.

Las barras pivotes se acoplan para proporcionar la estabilidad del sistema. El acople se efectúa mediante un eje superior ubicado en la barra secundaria (punto C) y dependiendo del ángulo que se requiera, este se posicionará a través de las guías de acople ubicadas en la barra principal.

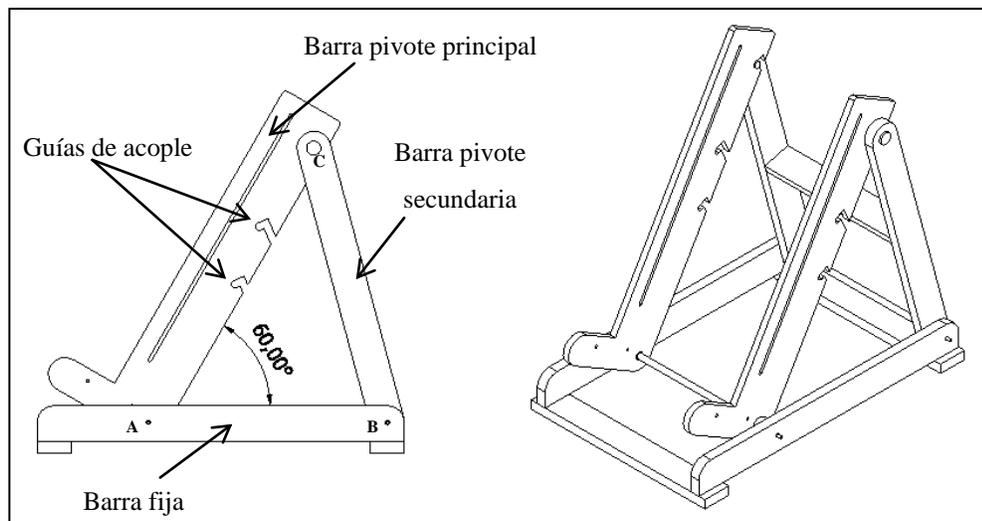


Figura 4.2 .Vista lateral e isométrica del mecanismo de accionamiento acoplado en 60°.

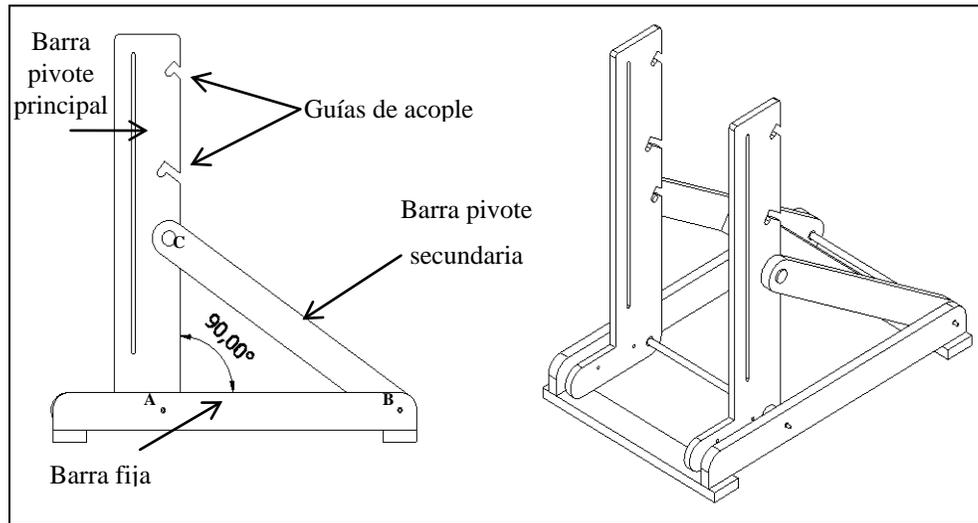


Figura 4.3 .Vista lateral e isométrica del mecanismo de accionamiento acoplado en 90°.

4.2.2 Dimensiones Principales

Luego que se obtuvo el mecanismo cumpliendo con la variación de ángulos y estabilidad requerida, se procedió a asignar las medidas principales, considerando las limitantes de espacio físico y medidas antropométricas. La solución generada se ilustra en la figura 4.4 donde: A representa la altura del bipedestador y está definida por la barra principal para talla de niños con 5 años percentil 97 (110 cm); B es la distancia entre la rueda delantera y trasera del dispositivo (120 cm); C representa la distancia entre las ruedas derechas e izquierdas del dispositivo (65 cm), permitiendo la movilización del dispositivo a través de las puertas; E y D definen el ancho de espalda y cadera del paciente respectivamente, ajustándose de 15 cm a 32 cm.

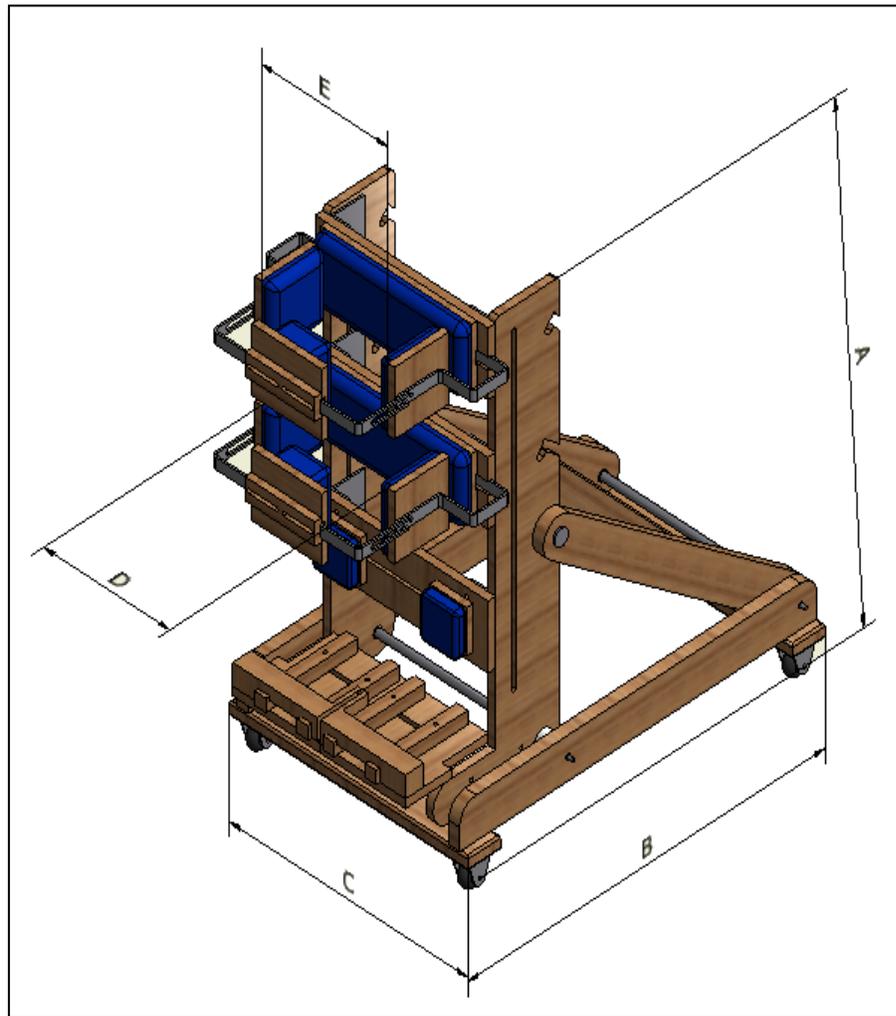


Figura 4.4. Dimensiones principales.

4.2.3 Descripción de Piezas

La solución generada para el bipedestador infantil está compuesta por 20 piezas, las cuales cumplen una función específica en el ensamblaje y funcionamiento del dispositivo. A continuación en la figura 4.5 se muestra la numeración y posición de las piezas en un dibujo isométrico del conjunto armado, la descripción de las piezas se encuentra en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Nombre y descripción de las piezas

Pieza N°	Nombre y descripción
1	Barras principales: permiten regular la distancia entre los soportes de pecho, cadera y rodillas respecto al soporte de los pies.
2	Ruedas: proporcionan la movilidad al dispositivo.
3	Eje superior: permite el acople entre las barras principales y las barras pivotes.
4	Pomo de plástico: ofrece la fijación de todos los componentes móviles del bipedestador en la posición que se requiera dependiendo del paciente.
5	Elementos de sujeción de los pies: constan de cuatro barras y cinco correderas permitiendo la fijación de los pies al bipedestador.
6	Soporte de pies: ofrece la superficie de apoyo para la planta del pie.
7	Apoyos de las rodillas: ofrecen la superficie de contacto para las rodillas.
8	Soporte de rodillas: posibilita la fijación de los apoyos de las rodillas.
9	Soportes de cadera: determina el punto sobre el cual se apoya a nivel de la cadera el paciente en el bipedestador.
10	Apoyo para espalda y glúteos: ofrecen los puntos de contacto necesarios para la correcta posición bípeda.
11	Pletinas traseras: restringe el movimiento del paciente manteniéndolo correctamente erguido.
12	Soportes laterales: ofrece el apoyo lateral al paciente a la altura del pecho y las caderas para que logre una correcta posición erguida.
13	Pletinas laterales: regulan el ancho del tronco del paciente ajustándose a la anatomía del mismo y evitando que se desplace a los lados.
14	Soportes movilizadores tipo L: permiten la unión de los soportes de pecho, cadera y rodillas a las correderas de las barras principales.
15	Soporte de pecho: determina el punto sobre el cual se apoyará el pecho del paciente sobre el dispositivo.
16	Eje de las barras pivote secundarias: posibilita la rotación de las barras pivotes secundarias.
17	Barras pivote secundarias: proporciona la variación angular y estabilidad del dispositivo al acoplarse con las barras principales.
18	Barras base: soportan las barras laterales y en ellas se acoplan las ruedas.
19	Barras fijas: contienen a los ejes de las barras principales y barras pivotes.
20	Eje de las barras pivote principales: permite la rotación de las barras principales.

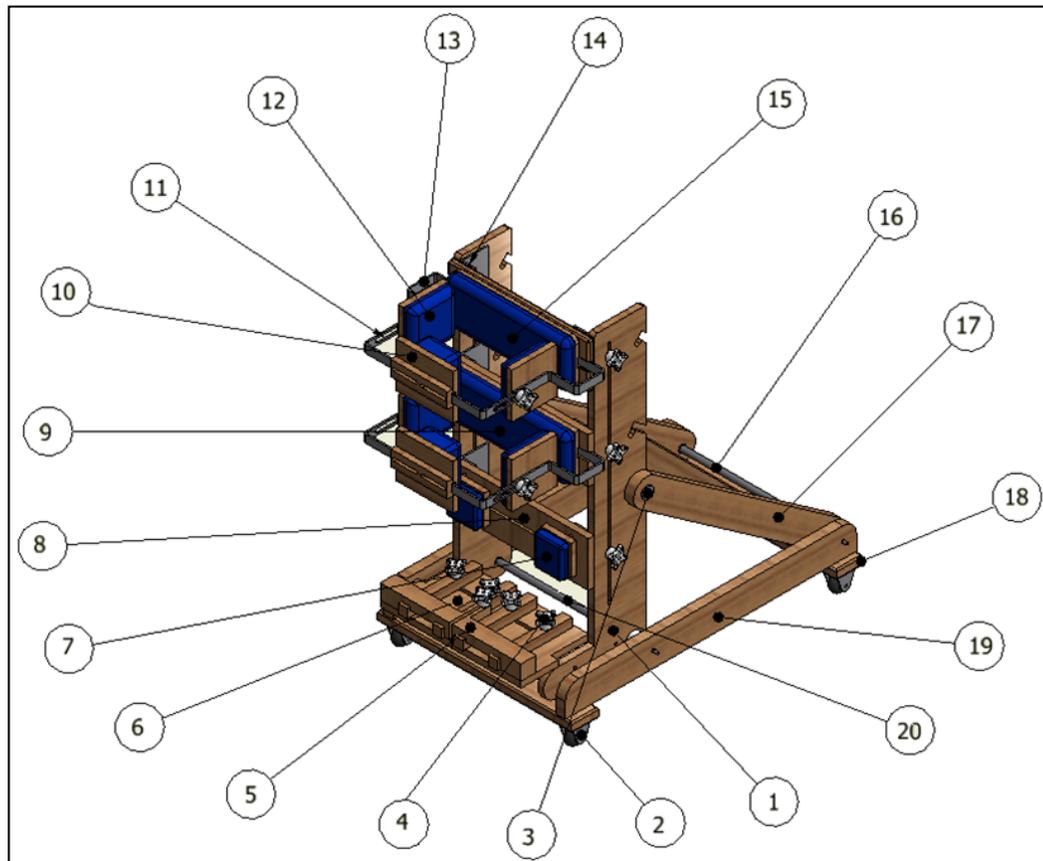


Figura 4.5. Numeración de piezas.

4.3 SELECCIÓN DE MATERIALES

Previo a la construcción es necesaria la selección de materiales. Para la elaboración del bipedestador se seleccionó madera para los soportes de sujeción y en las barras que conforman el mecanismo de accionamiento. Las pletinas, ejes y placas tipo L fueron elaborados con acero ASTM A36.

4.3.1 Selección de la Madera

Se planteó como requerimiento para la construcción del bipedestador el uso de madera, ya que uno de los objetivos es facilitar su reproducción. La madera seleccionada fue el cedro, debido a su costo accesible en el mercado venezolano. En

la tabla 2.3 del capítulo 2 se especifican las propiedades más importantes del cedro seco al aire.

✓ Consideraciones de Diseño para la Madera

Con el fin de facilitar los cálculos se establecieron las siguientes consideraciones:

- Se supuso la madera como un material isotrópico.
- Se seleccionó el límite de fluencia a la compresión como valor crítico de diseño, en la dirección perpendicular a las fibras del cedro (seco al aire), ya que en estas condiciones será menor la resistencia a la fluencia ($S_y = 4,99 \text{ MPa}$), ver tabla 2.3.

4.3.2 Selección del Acero

El acero utilizado fue un acero de bajo carbono ASTM A36 debido a su bajo costo, alta comercialización en pletinas, tornillos y barras de acero calibradas en el país. Sus propiedades mecánicas se resumen en la tabla 4.2:

Tabla 4.2. Propiedades mecánicas del acero.

Tipo de acero	Esfuerzo de fluencia (S_y)	Esfuerzo de ruptura (S_u)	Módulo de elasticidad (E)	Dureza Brinell
ASTM A36	250 MPa	469 MPa	206,8 GPa	131

4.4 CÁLCULOS ANALÍTICOS DE LAS GEOMETRÍAS SIMPLES

En los siguientes cálculos analíticos se determinó la capacidad resistiva de cada elemento. Solo se diseñaron aquellos componentes que presentaron un estado de carga crítico dentro del ensamblaje del equipo.

4.4.1 Eje de las Barras Pivote Principales (Pieza 20)

Para el diseño de este elemento se definieron las fuerzas críticas a la cual estaría sometido. Las fuerzas máximas que inciden en el eje, se generan en la posición de

90°, debido a que el paciente se encuentra totalmente erguido, apoyando el 100% de su peso sobre el soporte para pies. El soporte se encuentra unido a las barras pivotes principales, que a su vez están apoyadas sobre el eje. En la figura 4.6 se visualiza la descripción mencionada y la ubicación del eje principal en el dispositivo.

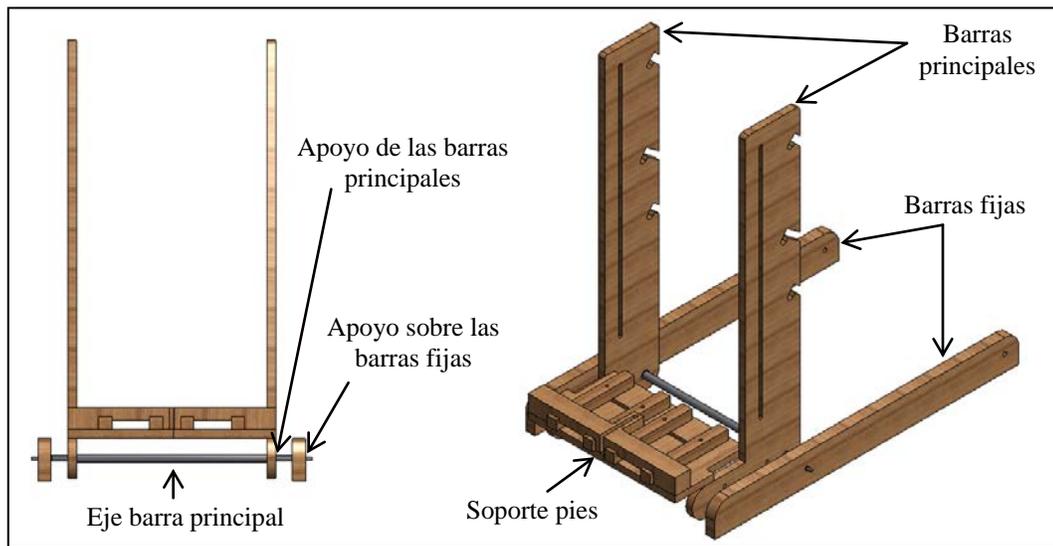


Figura 4.6. Ubicación eje de barra principal.

En la Figura 4.7 se muestra la ubicación de la fuerza de 245 N, correspondiente al peso de un niño de 5 años de edad percentil 97 apoyado en el soporte para pies. Las reacciones P_1 y P_2 son producto del apoyo de la barra principal sobre el eje, mientras que la reacción R_3 se genera debido al acoplamiento de la barra pivote principal y secundaria, a través de las guías de acople.

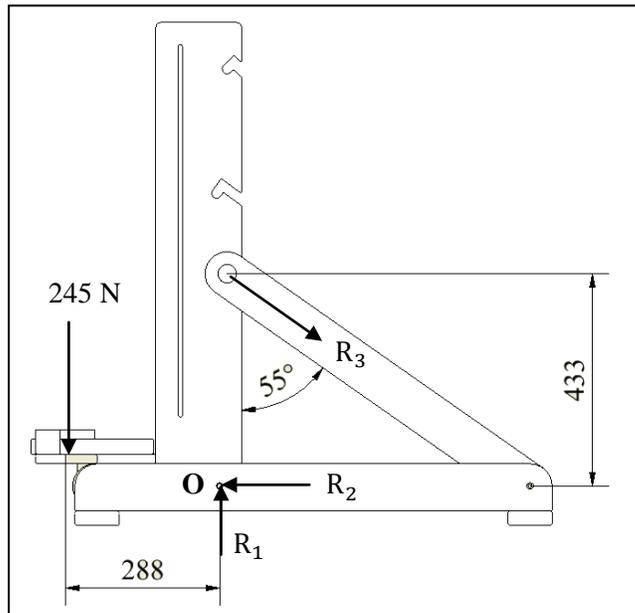


Figura 4.7. Determinación de las Fuerzas que Inciden sobre el Eje.

Para el cálculo de las reacciones P_1 , P_2 y P_3 se aplicó sumatoria de fuerzas en X, Y y sumatoria de momentos en O. Obteniendo las ecuaciones 4.1, 4.2 y 4.3:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow P_1 - P_2 * \cos(55^\circ) = 0 \quad (4.1)$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow P_3 * \text{sen}(55^\circ) - P_2 = 0 \quad (4.2)$$

$$\sum M_O = 0 \rightarrow 245 * 288 - (433) * P_3 * \text{sen}(55^\circ) = 0 \quad (4.3)$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones se tiene que:

$$P_1 = 114,10 \text{ N}; P_2 = 162,95 \text{ N y } P_3 = 199 \text{ N}$$

Finalmente se calculan las fuerzas resultantes que inciden sobre el eje en los puntos B y C (ver figura 4.8) mediante la ecuación 4.4.

$$F_1 = F_2 = \sqrt{P_1^2 + P_2^2} = 198,92 \text{ N} \quad (4.4)$$

El diagrama de cuerpo libre del eje se aprecia en la figura 4.8, denotando las fuerzas F_1 y F_2 , provenientes de las barras pivotes principales. También se aprecian las reacciones generadas en los apoyos A y D' ubicados en las barras fijas (R_a y R_d).

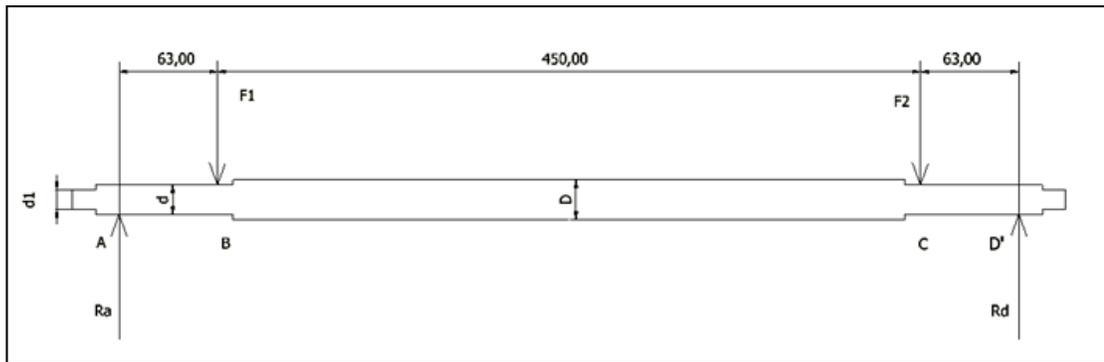


Figura 4.8. Diagrama de cuerpo libre del eje de las barras pivotes principales.

Las relaciones $\frac{D}{d} = 1,30$; $\frac{d}{d_1} = 1,30$ y $\frac{r}{d} = 0,1$ se fijaron para establecer un tope entre las barras fijas y las barras principales.

Para el cálculo de las reacciones R_a y R_b se aplicó sumatoria de fuerzas en Y y sumatoria de momentos en A. Obteniendo las ecuaciones 4.5 y 4.6:

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_1 + F_2 - R_a - R_d = 0 \quad (4.5)$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow (63) * F_1 + (563) * F_2 - (626) * R_d = 0 \quad (4.6)$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones se tiene que:

$$R_d = 198,92 \text{ N y } R_a = 198,92 \text{ N}$$

A continuación se muestra en la figura 4.9 el diagrama de corte y momento:

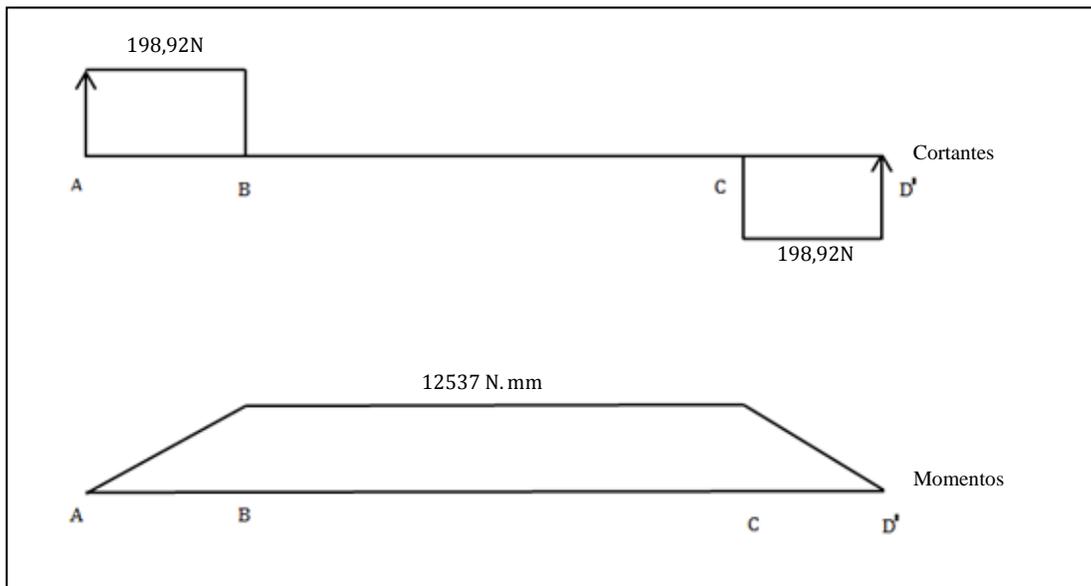


Figura 4.9. Diagrama de corte y momento.

Los puntos más esforzados son B y C, puesto que se encuentra el menor diámetro, esfuerzo máximo a flexión y concentración de esfuerzos debido al cambio de sección.

$$M_{\max} = 12537 \text{ N.mm} ; d = \frac{D}{1,3} ; \frac{r}{d} = 0,1$$

Donde :

D: Diámetro mayor del eje en el cambio de sección en estudio; d: Diámetro menor del eje en el cambio de sección en estudio; r: Radio de cambio de sección; M_{\max} : Momento máximo.

La ecuación 4.7 representa el comportamiento para el diseño de ejes con concentración de esfuerzos a cargas estáticas:

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{S_y}{N} = K_T \sigma_{\text{max}} \quad (4.7)$$

Dónde:

σ_{adm} : Esfuerzo admisible; S_y : Límite de fluencia; σ_{max} : Esfuerzo máximo; N: Factor de seguridad; K_t : Factor de concentración de tensión.

Para el diseño se consideró un factor de seguridad de $N = 3$, K_t se obtiene intersectando las curvas en el gráfico A-1 (anexo A), ingresando con $\frac{D}{d} = 1,3$ y $\frac{r}{d} = 0,1$; se tiene que $K_t = 1,65$.

Finalmente las dimensiones del eje se determinaron a partir de las ecuaciones 4.7 y 4.8:

$$\sigma_{max} = \frac{M_f * 32}{\pi * d^3} \quad (4.8)$$

Sustituyendo la ecuación 4.7 en la 4.5 y despejando d se obtiene:

$$d = \sqrt[3]{\frac{K_t * M_f * 32 * N}{\pi * S_y}} = \sqrt[3]{\frac{1,65 * 12537 \text{ N} \cdot \text{mm} * 32 * 3}{\pi * 250 \text{ MPa}}} = \sqrt[3]{2528,47} = 13,62 \text{ mm} \quad (4.9)$$

Se aproxima a 14 mm para garantizar que el elemento ofrezca una mayor resistencia, los diámetros en los cambios de secciones se calculan con las relaciones $\frac{D}{d} = 1,3$; $\frac{d}{d_1} = 1,3$ y $\frac{r}{d} = 0,1$, entonces:

$$D = (d) * (1,3) = (14) * (1,3) = 18,2 \text{ mm} \quad (4.10)$$

$$d_1 = \frac{d}{1,3} = 10,76 \text{ mm} \quad (4.11)$$

$$r = (d)(0,1) = 1,4 \text{ mm} \quad (4.12)$$

Con el diámetro obtenido en la ecuación 4.9, se seleccionó una barra calibrada de acero ASTM A36 de diámetro 19,05 mm ($\frac{3}{4}$ de pulgadas), suficiente para realizar el mecanizado del eje y aumentando el factor de seguridad del mismo. A continuación se procedió a recalculer el factor de seguridad.

Despejando d de la ecuación 4.10 y sustituyendo el diámetro seleccionado se obtiene:

$$d = \frac{D}{1,3} = \frac{19,05}{1,3} = 14,65 \text{ mm}$$

Despejando N de la ecuación 4.8 y sustituyendo el diámetro obtenido en la ecuación 4.12 se tiene que:

$$N = \frac{(14,65\text{mm})^3 * \pi * 250 \text{ MPa}}{1,65 * 12537 \text{ N.mm} * 32} = 3,73 \quad (4.13)$$

El factor de seguridad se incrementó en un 24% producto del aumento del diámetro de la barra, garantizando que los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas al eje, se encuentran 3,73 veces por debajo de la resistencia del material.

4.4.2 Eje de Barras Pivote Secundarias (Pieza 16)

El eje de las barras pivotes secundarias es geoméricamente similar al diseñado previamente. En esta sección se realizó un análisis demostrativo con el dispositivo ubicado en 60°, posición en la cual incurre la mayor parte del peso del paciente. En la figura 4.10 se muestra la posición del eje con dispositivo acoplado en 60°.

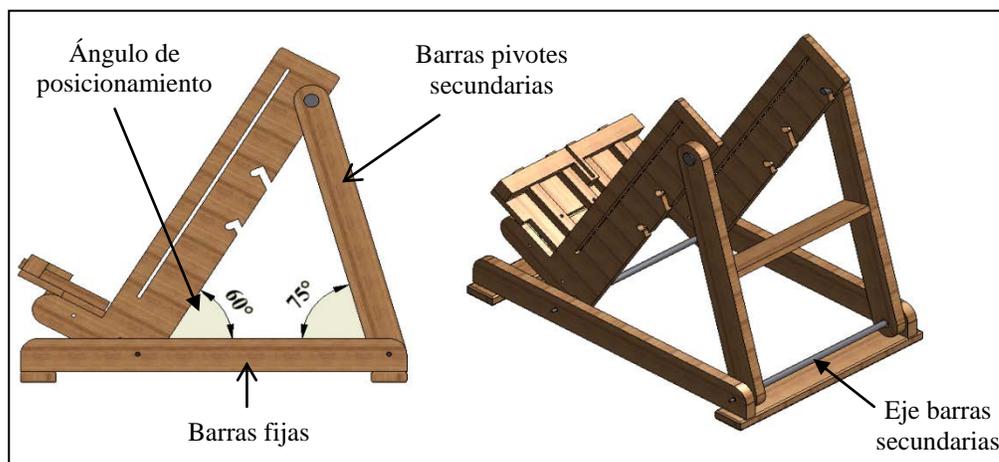


Figura 4.10. Posicionamiento 60° (crítico) eje barras pivotes secundarias.

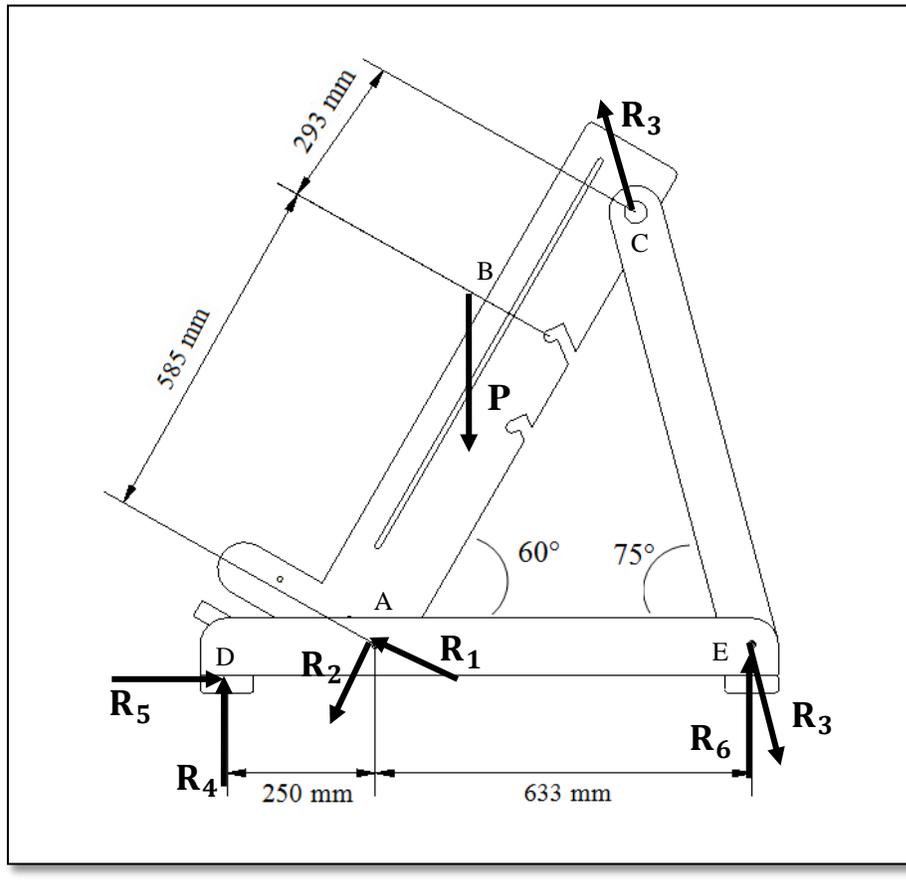


Figura 4.11. Carga y Reacciones Aplicadas al Dispositivo Ubicado en 60° de Inclinación.

La demostración tiene como fundamento determinar el porcentaje de peso que incide sobre el eje.

En la figura 4.11 se muestra el estado de cargas cuando el dispositivo se encuentra ubicado en la posición de 60 grados. En el punto A se ubican las reacciones R_1 y R_2 y representan al apoyo de las barras pivotes principales sobre su eje. En el punto E se ubican las reacciones R_3 y R_6 que representan al apoyo de las barras pivotes secundarias sobre su eje. En el punto D se ubican las reacciones R_4 y R_5 y representan al apoyo de las barras fijas sobre las barras base. En el punto C actúa la reacción R_3 , puesto que la barra pivote secundaria se encuentra doblemente articulada y se consideró como una barra ideal. Finalmente en el punto B se aprecia la dirección

y ubicación de la fuerza que ejerce un niño de 5 años de edad percentil 97 (P), cuya magnitud es de 245 N.

Para el cálculo de las reacciones R_1 , R_2 y R_3 se aplicó en la barra pivote principal sumatoria de fuerzas, en X, Y y de momentos en el punto A.

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_2 + R_3 * \text{Cos}(45^\circ) = P * \text{Cos}(30^\circ) \quad (4.14)$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_1 + R_3 * \text{Sen}(45^\circ) = P * \text{Sen}(30^\circ) \quad (4.15)$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow \text{Sen}(45^\circ) * R_3 * (878 \text{ mm}) - (626) * R_d = P * \text{Sen}(30^\circ) * (585 \text{ mm}) \quad (4.16)$$

Luego de resolver el sistema se obtuvo:

$$R_1 = 40,88 \text{ N}; R_2 = 130,56 \text{ N}; R_3 = 115,42 \text{ N}$$

Para el cálculo de las reacciones R_4 , R_5 y R_6 se aplicó en la barra fija sumatoria de fuerzas, en X, Y y de momentos en el punto D

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_5 - R_1 * \text{Cos}(30^\circ) + R_2 * \text{Cos}(60^\circ) + R_3 * \text{Cos}(75^\circ) = 0 \quad (4.17)$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_4 + R_1 * \text{Sen}(30^\circ) + R_2 * \text{Sen}(60^\circ) + R_6 - R_3 * \text{Sen}(75^\circ) = 0 \quad (4.18)$$

$$\sum M_D = 0 \rightarrow [R_1 * \text{Sen}(30^\circ) + R_2 * \text{Sen}(60^\circ)](250 \text{ mm}) + R_6 * (883 \text{ mm}) - R_3 * \text{Sen}(75^\circ) * (883) = 0 \quad (4.19)$$

Luego de resolver el sistema se obtuvo:

$$R_4 = -95,27 \text{ N}; R_5 = -59,54 \text{ N}; R_6 = 73,69 \text{ N}$$

La magnitud de la fuerza efectiva en el eje es $R_3 = 115,42 \text{ N}$, entonces:

$$\%F_{198,92 \text{ N}} = 100 \left(1 + \frac{115,42 \text{ N} - 198,92 \text{ N}}{198,92 \text{ N}} \right) = 58\% \quad (4.20)$$

Dónde:

$\%F_{198,92 \text{ N}}$: Porcentaje de fuerza incidente en el eje de las barras pivotes secundarias.

Demostrando que la fuerza máxima en el eje de las barras pivotes secundarias es 58 % de la fuerza máxima ejercida en el eje de las barras pivotes principales, siendo innecesario su cálculo. Pues se usara la misma barra.

4.4.3 Barra fija (Pieza 19)

La barra fija se encarga de soportar el peso estructural del dispositivo, transmitido desde los ejes. En la figura 4.12 se observa los puntos A, donde actúan las fuerzas provenientes del eje de las barras principales (R_1 y R_2), D donde actúan las fuerzas provenientes del eje de las barras secundarias (R_3 y R_6) y en el punto E actúan las fuerzas producto del punto de sostén con la barra fija (R_4 y R_5).

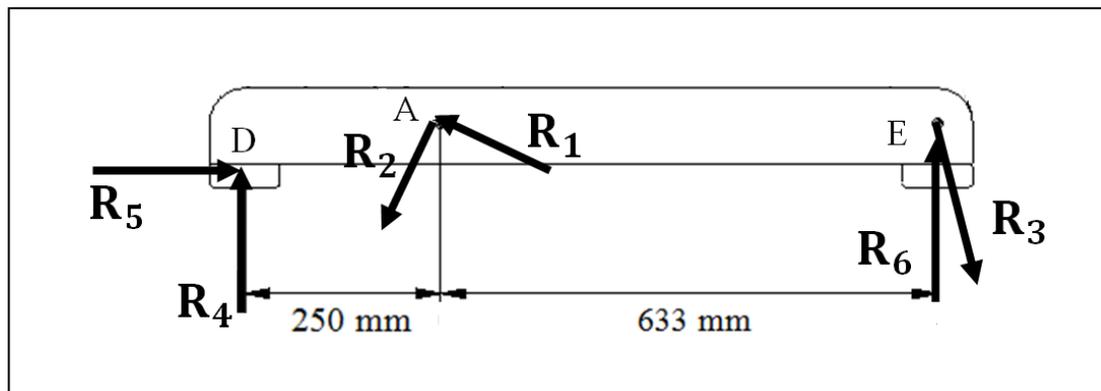


Figura 4.12. Diagrama de Cuerpo Libre de la Barra Fija.

El valor de las reacciones fue calculado en la sección anterior (4.4.2). A continuación se muestra en la figura 4.13 el diagrama de corte y momento para la barra, el R_1 cual se obtuvo a partir de la descomposición en X y Y de las reacciones R_1 , R_2 y R_3 :

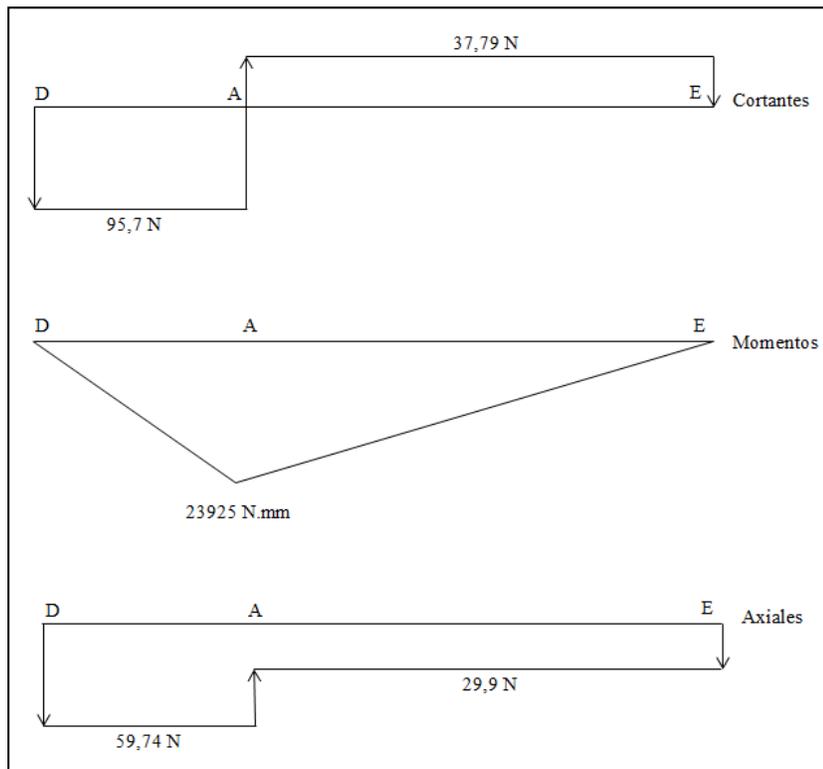


Figura 4.13. Diagrama de Corte, Momento y Cargas Axiales para la Barra Fija.

El punto B es el más esforzado ya que se encuentra el momento máximo con esfuerzos combinados. A continuación se muestran las variables necesarias para el cálculo del factor de seguridad en B.

$$M_{\max} = 23925 \text{ N}\cdot\text{mm}; A_T = 1530 \text{ mm}^2; S_y = 6,32 \text{ MPa}; c = 48 \text{ mm}; I = 2211840 \text{ mm}^4$$

Donde :

M_{\max} : Momento máximo en B; A_T : Área de la sección transversal cuadrada en B; S_y : Límite de elasticidad para el cedro; c : Distancia desde eje neutro hasta la fibra externa; I : Mayor inercia de la sección transversal cuadrada en B.

Se procedió al cálculo de los esfuerzos combinados en el punto B, mediante la ecuación 4.21.

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{S_y}{N} = \sqrt{(\sigma_{Mf} + \sigma_p)^2 + 3(\tau_{\text{Corte}})^2} \quad (4.21)$$

Dónde:

τ_{Corte} : Esfuerzo cortante puro en B; σ_p : Esfuerzo de compresión pura en B; σ_{Mf} : Esfuerzo flector producido por el momento máximo M_{max} en B.

Las ecuaciones 4.22, 4.23 y 4.24 permitieron en cálculo de los esfuerzos mencionados.

$$\sigma_{M_{\text{max}}} = \frac{(M_{\text{max}}) \cdot (c)}{I} = 0,5 \text{MPa} \quad (4.22)$$

$$\tau_{\text{Corte}} = \frac{F_{\text{corte B}}}{A_T} = 0,08 \text{MPa} \quad (4.23)$$

$$\sigma_p = \frac{F_{\text{traccion B}}}{A_T} = 0,02 \text{MPa} \quad (4.24)$$

Se despejó de la ecuación 4.21 el factor de seguridad generando la ecuación 4.25.

$$N = \frac{S_y}{\sqrt{(\sigma_{Mf} + \sigma_p)^2 + 3(\tau_{\text{Corte}})^2}} \quad (4.25)$$

Sustituyendo los resultados de las ecuaciones 4.22, 4.23 y 4.24 en la ecuación 4.25 se tiene que el factor de seguridad es:

$$N = \frac{6,32 \text{MPa}}{0,53 \text{MPa}} = 11,92$$

El factor de seguridad obtenido expresa que los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas sobre la barra fija, se encuentra 11,92 veces por debajo de la resistencia del cedro, lo cual es favorable para las condiciones de operación de la pieza. El esfuerzo a compresión que actúa en la barra es despreciable, puesto que es mucho menor en comparación a los producidos por el corte y la flexión.

4.5 VALIDACIÓN DEL PROGRAMA TIPO CAD MEDIANTE CÁLCULO ANALÍTICO

Se procedió a verificar el uso del programa mediante los valores obtenidos en la sección 4.4.1, con el fin de comprobar el factor de seguridad establecido para el cálculo del eje. Corroborando el correcto funcionamiento del programa, puesto que fue utilizado para las simulaciones del ensamble general del dispositivo (sección 4.5). A continuación se detalla el estado de cargas y los resultados obtenidos mediante el método de elementos finitos, considerando un criterio de convergencia del 5%.

En la figura 4.14 se muestran las condiciones de borde que se emplearon para efectuar la simulación, donde los valores de las fuerzas F_1 y F_2 se especificaron en la ecuación 4.1 (198,92 N). Las zonas en la superficie del eje de color azul claro, representan la condición de borde.



Figura 4.14. Condiciones de borde.

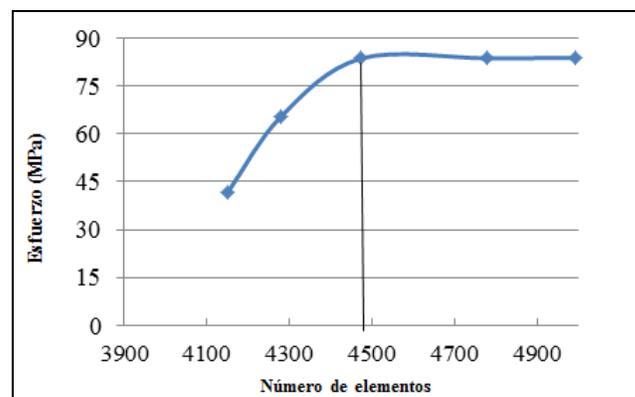


Figura 4.15. Análisis de convergencia para el eje de las barras principales.

En la figura 4.15 se aprecia la curva de convergencia para el eje, se seleccionó el 3^{er} modelo, el cual está compuesto por 4473 elementos y 7689 nodos. Para el cálculo del error se consideró 3^{er} y 5^{to} modelo, como se muestra en la ecuación 4.26.

$$\%E = \frac{\sigma_3 - \sigma_5}{\sigma_3} = \frac{67,913 \text{ MPa} - 67,152 \text{ MPa}}{67,913 \text{ MPa}} = 0,239\% \quad (4.26)$$

El valor del esfuerzo máximo es de 83,72 MPa, situado en el cambio de sección que mantienen a las barras fijadas en su posición (ver figura 4.16).

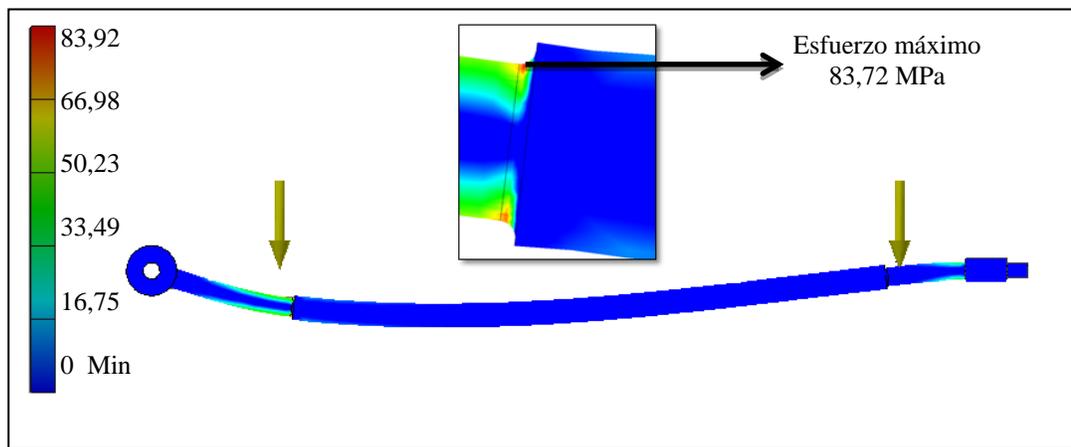


Figura 4.16. Ubicación del Esfuerzo Máximo.

El factor de seguridad mínimo arrojado por el programa fue de 2,99, Ubicado en la misma zona donde se encuentra el esfuerzo máximo. Este factor es muy cercano al valor fijado para el cálculo analítico en la sección 4.4.1 (N=3), comprobando la condiciones de borde y confiabilidad del programa para los análisis de esfuerzos del ensamble general.

4.5 ENSAMBLE GENERAL

El diseño del ensamble general ayudó a obtener un estimado del comportamiento del dispositivo en las condiciones más críticas a las que estará expuesto. El análisis

estático del ensamble, se realizó utilizando un modelo asistido por computador como consecuencia de la complejidad geométrica del mismo.

4.5.1 Estado de Fuerzas Crítico Para el Ensamble

Como se definió anteriormente las cargas aplicadas al dispositivo se consideraron cargas estáticas. Se estableció la magnitud de las cargas distribuidas que emularan a un niño con la máxima talla y peso.

En la figura 4.17 se detalla la ubicación de las fuerzas resultantes, producto de las cargas distribuidas ejercidas en las barras de sujeción de los pies (1), apoyos de las rodillas (3), soporte frontal de la cadera (4), soportes laterales del pecho (5), soporte frontal del pecho (6), soporte espalda (7), soportes laterales de la cadera (8) y el soporte de los glúteos (9), estas fueron estimadas en un 40,8% del peso propio del paciente (100N). Mientras que la fuerza en el soporte de los pies (2) se estimó en un 100% del peso propio del paciente el cual equivale a 245N.

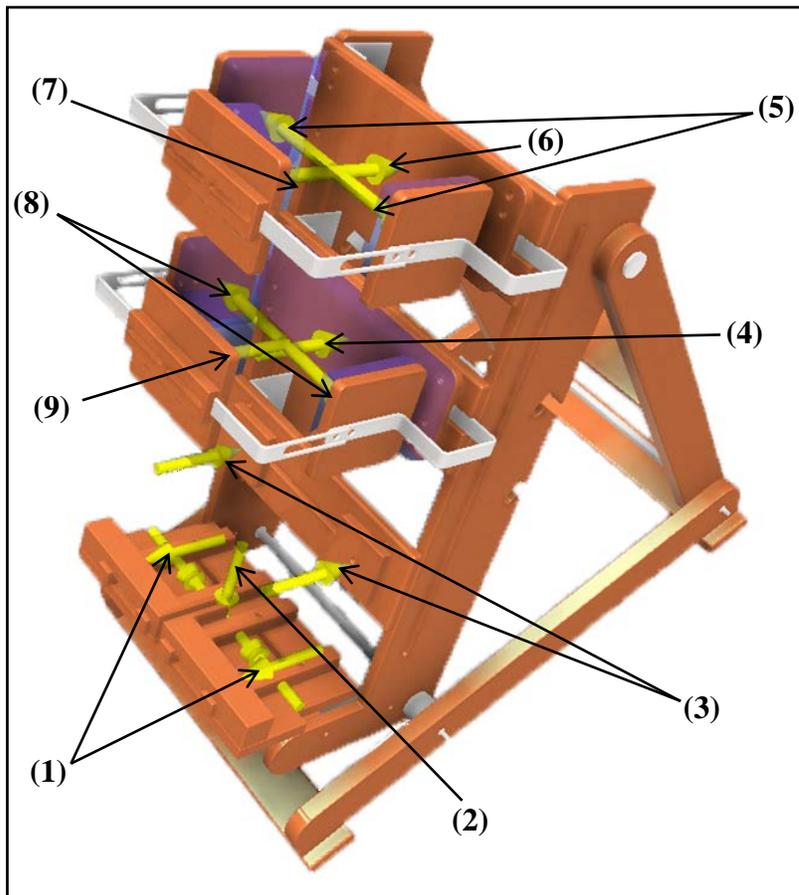


Figura 4.17. Estado de cargas tridimensional del bipedestador.

La estimación se realizó, tomando en cuenta la fuerza máxima (crítica), que podría generar un paciente si se apoya totalmente sobre un elemento del dispositivo, a causa de una posible mala sujeción por parte de la terapeuta o falla de los elementos de apoyos.

El 40.8% representa cerca de la mitad del peso del paciente, aplicándose a cada componente de sujeción del dispositivo. Ofreciendo un factor de seguridad adicional intrínseco en el estado de cargas.

4.5.2 Análisis de Esfuerzo

Considerando las fuerzas definidas anteriormente se procedió a realizar el análisis de esfuerzo del ensamble general. La tabla 4.3 muestra los factores de seguridad obtenido de las simulaciones para cada posición del bipedestador. Se observa que el factor de seguridad más bajo se presenta a los 90° de inclinación. Sin embargo el dispositivo fue capaz de resistir las fuerzas que se estimaron en la sección anterior.

Tabla 4.3. Determinación de la posición crítica del bipedestador.

Posición del bipedestador	Factor de seguridad
90°	3,48
75°	4
60°	9,42

A continuación se detallará el diseño computacional del dispositivo posicionado en 90°, por presentar el menor factor de seguridad.

En la figura 4.17 se presentan las ubicaciones y descripciones de las fuerzas en el dispositivo posicionado en 90°. Las condiciones de borde empleadas para la simulación se muestran en la figura 4.18, donde las zonas de color azul claro presente en los extremos de las barras bases, representan las restricciones fijas, ubicadas donde se posicionan las ruedas del dispositivo.

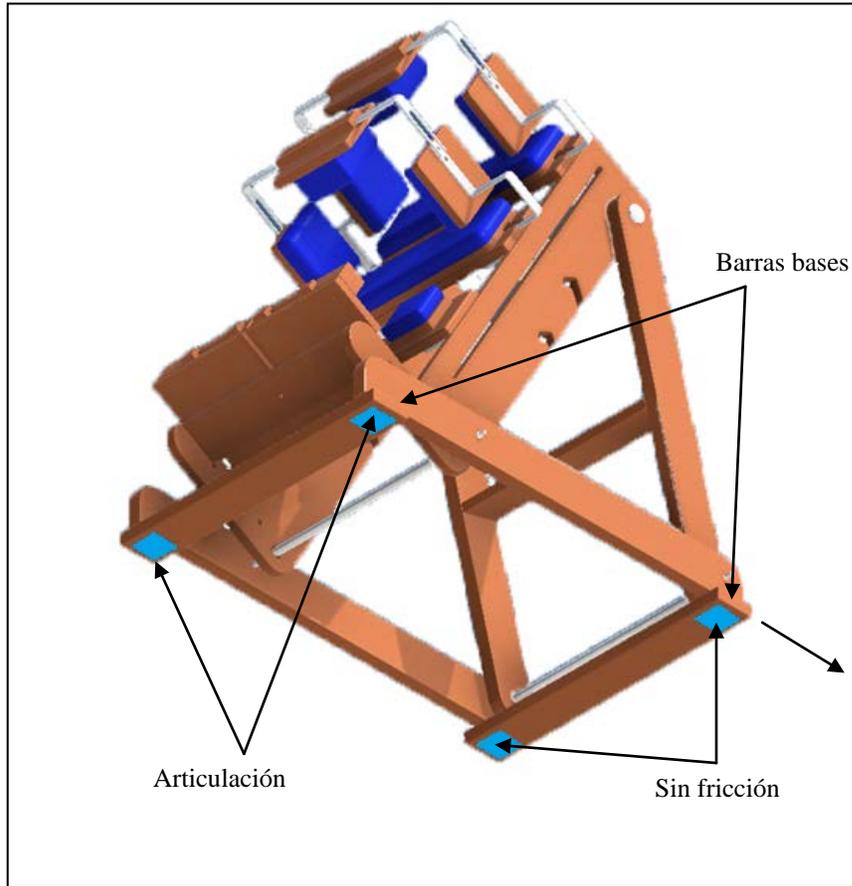


Figura 4.18. Ubicación de las restricciones en las barras bases.

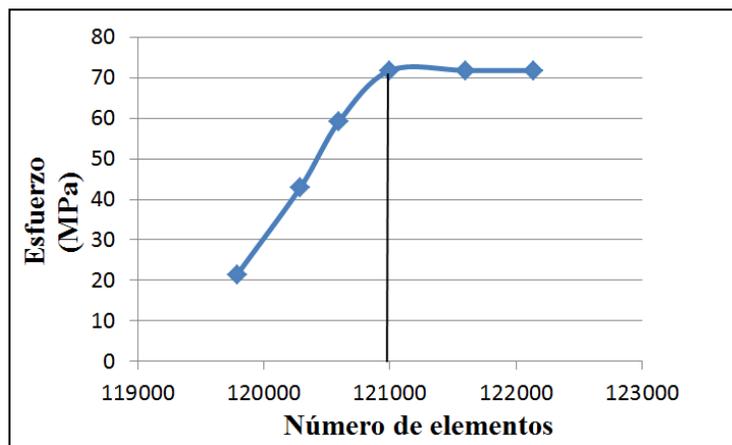


Figura 4.19. Gráfico de convergencia para el bipedestador en 90°.

En la figura 4.19 se aprecia la tendencia de la curva de convergencia para el bipedestador, se seleccionó el 3^{er} modelo, el cual está compuesto por 12100 elementos y 218396 nodos. Para el cálculo del error se consideró 3^{er} y 5^{to} modelo, como se muestra en la ecuación 4.27.

$$\%E = \frac{\sigma_5 - \sigma_3}{\sigma_3} = \frac{76,102\text{MPa} - 76,089\text{MPa}}{76,089\text{MPa}} = 0,0018\% \quad (4.27)$$

El valor del esfuerzo máximo es de 71,79 MPa, situado en las pletinas laterales del pecho, específicamente en la zona del primer dobléz a 90 grados (ver figura 4.20). El factor de seguridad mínimo arrojado por el programa es de $N_{\text{Min}} = 3,48$ lo cual garantiza que el diseño ofrecerá una condición segura de trabajo, aun cuando su elemento más crítico este sometido a esfuerzo de flexión generados por los movimientos que el niño realiza durante las terapias.

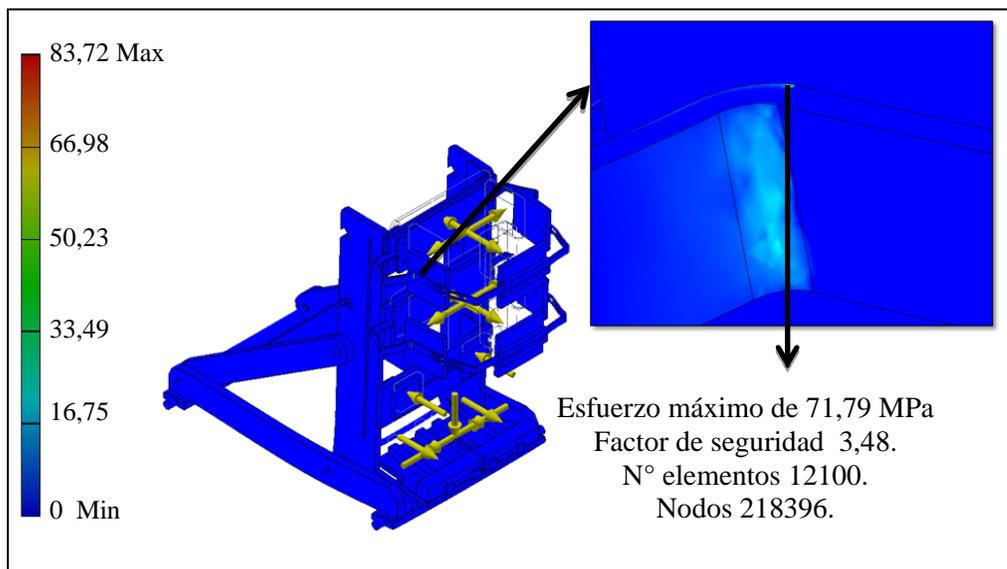


Figura 4.20. Ubicación del esfuerzo máximo y el factor de seguridad mínimo.

En la figura 4.21 se visualiza el valor y ubicación del desplazamiento máximo que sufre el dispositivo, debido a las fuerzas a las que se sometió. Se observa que los máximos desplazamientos se encuentran en la zona inferior de los apoyos laterales con un valor aproximado de 0,25mm, la flexión producida no afecta la estabilidad del

mecanismo de sujeción a nivel de la cadera y el pecho, lo cual les transmite seguridad tanto al paciente como al terapeuta.

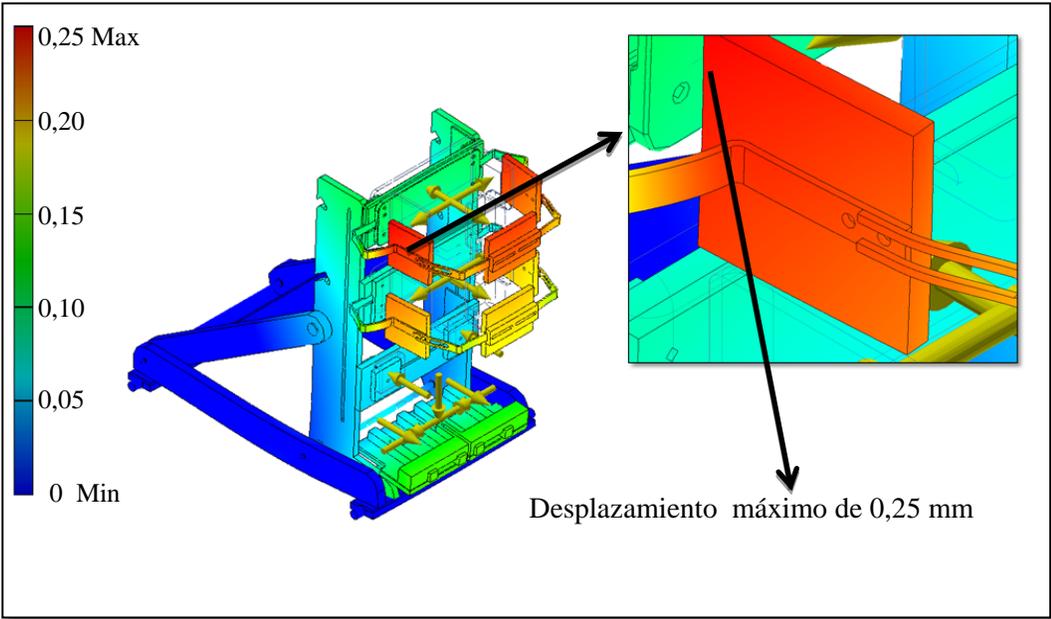


Figura 4.21. Ubicación del desplazamiento máximo.

CAPÍTULO 5

Construcción y Evaluación

En este capítulo se presenta el proceso de fabricación a través del cual se llevó a cabo la construcción del dispositivo, analizando su factibilidad económica. Las pruebas físicas de resistencia y funcionabilidad se realizaron con la finalidad de verificar el correcto funcionamiento y ergonomía del dispositivo.

5.1 PROCESO DE FABRICACIÓN

Las herramientas, equipos y el proceso de fabricación empleado para las piezas que integran el dispositivo, se especifican paso a paso en las hojas de proceso desde la tabla 5.1 hasta 5.12. Los detalles correspondientes a cada pieza se encuentran en el anexo B.

Tabla 5.1. Barras pivotes principales.

Etapa	Operación	Herramientas	Cantidad	Observación
1	Corte 	Sierra de mesa, caladora, lápiz, escuadra y cinta métrica	1	Realizar una plantilla guía con el contorno de la pieza, sobre la plancha de madera de 350x990x18 mm y cortar de manera cuidadosa (ver plano 14 del anexo B).
2	Taladrado 	Taladro de banco, marcador, brocas de 1" de diámetro y cinta métrica	3	Orificios para eje y soporte tipo L de los pies: -Orificio para el eje principal: emplear broca de 1" de diámetro para realizar agujero pasante. -Orificios de fijación para soporte tipo L de los pies: realizar dos agujeros pasantes usando una broca 3/8" de diámetro.
3	Rectificado 	Lijas número 120, 80, 40 y lijadora automática.	Hasta que la superficie este lisa.	Para la preparación de la superficie de la madera, se debe realizar lo siguiente: -Desbaste grueso con lijas número 40. -Desbaste medio con lija número 80. -Desbaste fino con lijas número 120.
4	Pintura 	Pistola neumática, tinta para madera, sellador y thinner.	7	Aplicar una capa de sellador y dejar secar, luego desbaste con lija #120 y nuevamente aplicar sellador (se debe realizar 4 veces este procedimiento). Finalmente aplicar una capa de pintura y dejarla secar (realizar 3 veces este procedimiento).

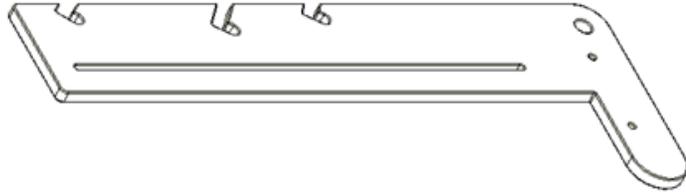


Tabla 5.2. Ejes de Barras pivotes principales y secundarias.

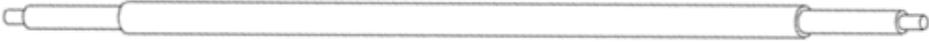
Etapa	Operación		Herramientas	Cantidad	Observación
1	Corte 		Tronzadora, disco de marcador, y cinta de corte métrica	1	Realizar un corte en una barra calibrada de diámetro 3/4" de acero 1020 de 2mts, longitud de corte 650 mm.
2	Refrentado 		Torno de banco, inserto de HSS, vernier y centro puntos.	2	Para el Refrentado: -Realizar centro punto y verificar que el eje este centrado. -Refrentar 7 mm en ambas caras a los extremos del eje.
3	Desbastado 		Torno de banco, inserto de HSS y vernier.	2	-Cilindrado n° 1: Longitud: 103 mm y Diámetro: ϕ 14mm. -Cilindrado n° 2: Longitud: 15 mm y Diámetro: ϕ 12,7 mm Realizar estas operaciones a ambos extremos de la barra según lo indica el plano 1 en el anexo B.
4	Pintura 		Espray color plateado.	2	Aplicar dos capas de pintura en espray plateado anticorrosivo sobre toda la superficie del eje.

Tabla 5.3. Barra fija.

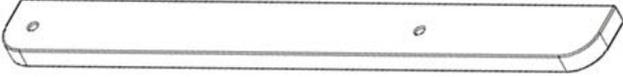
Etapa	Operación				Herramientas	Cantidad	Observación
1	Corte 				Sierra de mesa, caladora, lápiz, escuadra y cinta métrica	1	Realizar una plantilla guía con el contorno de la pieza, sobre la plancha de madera de 350x990x18 mm y cortar de manera cuidadosa (ver plano 2 del anexo B).
2	Taladrado 				Taladro de banco, marcador, brocas de 9/16" de diámetro y cinta métrica	2	Orificios para eje: -Emplear broca de 9/16" de diámetro para realizar 2 agujeros pasantes según ubicación en plano 3 descrito en el anexo B.
3	Rectificado 				Lijas número 120, 80, 40 y lijadora automática.	Hasta que la superficie este lisa.	Para la preparación de la superficie de la madera, se debe realizar lo siguiente: -Desbaste grueso con lijas número 40. -Desbaste medio con lija número 80. -Desbaste fino con lijas número 120.
4	Pintura 	Pistola neumática, tinta para madera, sellador y thinner.	7	Aplicar una capa de sellador y dejar secar, luego desbastar con lija #120 y nuevamente aplicar sellador (se debe realizar 4 veces este procedimiento). Finalmente aplicar una capa de pintura y dejarla secar (realizar 3			

Tabla 5.4. Barras base.

Etapa	Operación		Herramientas	cantidad	observación
1	Corte 		Sierra de mesa, caladora, lápiz, escuadra y cinta métrica.	1	Realizar una plantilla guía sobre la plancha de madera de 100x800x30 mm y cortar. Posteriormente realizar corte circular de radio 40 mm en cada vértice (ver plano 2 del anexo B).
2	Rectificado 		Lijas número 120, 80, 40 y lijadora automática.	Hasta que la superficie este lisa.	Para la preparación de la superficie de la madera, se debe realizar lo siguiente: -Desbaste grueso con lijas número 40. -Desbaste medio con lija número 80. -Desbaste fino con lijas número 120.
3	Pintura 	Pistola neumática, tinta para madera, sellador y thinner.	7	Para el proceso de pintura se debe seguir el siguiente procedimiento: -Aplicar una capa de sellador y dejar secar, volver a lijar con lija #120 y nuevamente aplicar sellador (realizar 4 veces este procedimiento). -Aplicar una capa de pintura y dejarla secar (realizar 3 veces este procedimiento).	

Tabla 5.5. Barras pivotes secundarias.

Etapa	Operación	Herramientas	cantidad	observación
1	Corte 	Sierra de mesa, caladora, lápiz, escuadra y cinta métrica	1	Realizar una plantilla guía sobre la plancha de madera de 100x1000x30mm, luego cortar de manera uniforme. Finalmente realizar dos cortes circulares de radio 45 mm en cada extremo de la barra.
2	Taladrado 	Taladro de banco, marcador, brocas de 1" de diámetro y cinta métrica	2	Orificios para los ejes: -Emplear broca de 1" de diámetro para realizar agujeros pasantes según ubicación en plano 3 del anexo B.
3	Rectificado 	Lijas número 120, 80, 40 y lijadora automática.	Hasta que la superficie este lisa.	Para la preparación de la superficie de la madera, se debe realizar lo siguiente: -Desbaste grueso con lijas número 40. -Desbaste medio con lija número 80. -Desbaste fino con lijas número 120.
4	Pintura 	Pistola neumática, tinta para madera, sellador y thinner.	7	Para el proceso de pintura se debe seguir el siguiente procedimiento: Aplicar una capa de sellador y dejar secar, volver a lijar con lija #120 y nuevamente aplicar sellador (realizar 4 veces este procedimiento). Aplicar una capa de pintura y dejarla secar (realizar 3 veces este procedimiento).

Tabla 5.6. Soportes de cadera y pecho.

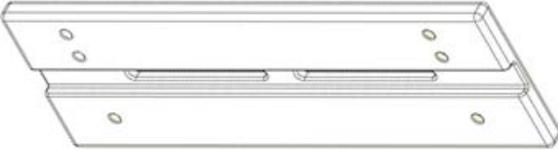
Etapa	Operación				Herramientas	cantidad	observación
1	Corte 				Sierra de mesa, caladora, trompo, lápiz, escuadra y cinta métrica	1	Elaborar una plantilla guía sobre la plancha de madera para cortar una sección rectangular de 470x150 mm. Luego realizar dos correderas pasantes con la caladora y por último fabricar una muesca rectangular de 470x150x5 mm según indica plano 3 del anexo B.
2	Taladrado 				Taladro de banco, marcador, brocas de 3/8" de diámetro y cinta métrica	6	Orificios de sujeción: -Emplear broca de 3/8" de diámetro para realizar agujeros pasantes según ubicación en plano # 6.
3	Rectificado 				Lijas número 120, 80, 40 y lijadora automática.	Hasta que la superficie este lisa.	Para la preparación de la superficie de la madera, se debe realizar lo siguiente: -Desbaste grueso con lijas número 40. -Desbaste medio con lija número 80. -Desbaste fino con lijas número 120.
1	Pintura 				Pistola neumática, tinta para madera, sellador y thinner.	7	Para el proceso de pintura se debe seguir el siguiente procedimiento: -Aplicar una capa de sellador y dejar secar, volver a lijar con lija #120 y nuevamente aplicar sellador (realzar 4 veces este procedimiento).

Tabla 5.7. Soportes movilizados tipo L

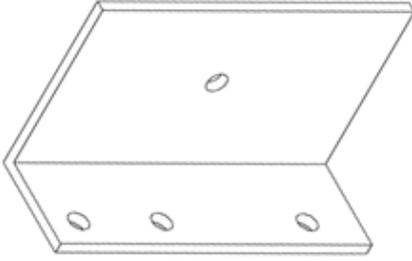
Etapa	Operación		Herramientas	cantidad	observación
1	Doblado 		Dobladora de placa.	1	Aplicar un doblado de 90° a una placa acero 1020 de 150x140x5 mm.
2	Taladrado 		Taladro de banco, marcador, vernier, brocas de 3/8".	4	-Orificios sin rosca para sujeción: emplear broca de 3/8" de diámetro para realizar 3 agujeros pasantes, que permitan acoplar las L a los soportes de pecho, cadera, rodillas y pies. -Orificio con rosca: emplear broca de 5/16" de diámetro para realizar un agujero pasante según ubicación en plano 4 del anexo B.
3	Roscado 		Macho para rosca de 3/8" NC, gira macho y prensa	1	Realizar rosca con el macho de rosca en el agujero pasantes perforados de 5/16" de diámetro.
4	Pintura 	Espray plateado	2	Aplicar dos capas de pintura en espray plateado anticorrosivo sobre toda la superficie de la pletina	

Tabla 5.8. Pletinas laterales.

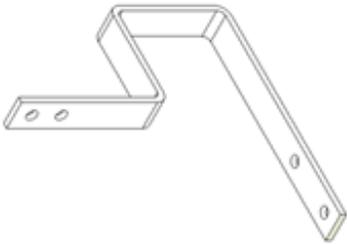
Etapa	Operación				Herramientas	cantidad	observación
1	Corte 				Sierra de mesa, trompo, lápiz, escuadra y cinta métrica	1	Longitud de corte 450 mm.
2	Doblado				Dobladora de placa	3	Realizar tres dobles a 90° a la distancia especificada en el plano 5 del anexo B.
3	Taladrado 				Taladro de banco, marcador, vernier, brocas de 3/8" y 5/16" de diámetro.	4	-Emplear una broca de 3/8" de diámetro para realizar dos agujeros pasantes, que permitan acoplar los soportes laterales a las pletinas laterales. -Emplear una broca de 5/16" de diámetro para realizar agujeros pasantes según ubicación en plano 8 del anexo B.
4	Roscado				Macho para rosca de 3/8" NC, gira macho.	2	Realizar rosca con el macho de roscar en los agujeros pasantes perforados de 5/16" de diámetro.
	Pintura	Espray plateado	2	Aplicar dos capas de pintura en espray plateado anticorrosivo sobre toda la superficie de la pletina.			

Tabla 5.9. Soportes laterales

Etapa	Operación		Herramientas	cantidad	observación	
1	Corte 			Sierra de mesa, caladora, trompo, lápiz ,escuadra y cinta métrica	1	Realizar una plantilla guía sobre la plancha de madera para cortar una sección rectangular de 150x150 mm.
2	Taladrado 			Taladro de banco, marcador, brocas de 3/8" de diámetro y cinta métrica	2	Emplear broca de 3/8" de diámetro para realizar agujeros pasantes según ubicación en plano 6 del anexo B.
3	Rectificado 			Lijas número 120, 80, 40 y lijadora automática.	Hasta que la superficie este lisa.	Para la preparación de la superficie de la madera, se debe realizar lo siguiente: -Desbaste grueso con lijas número 40. -Desbaste medio con lija número 80. -Desbaste fino con lijas número 120.
4	Pintura 		Pistola neumática, tinta para madera, sellador y thinner.	7	Para el proceso de pintura se debe seguir el siguiente procedimiento: Aplicar una capa de sellador y dejar secar, volver a lijar con lija #120 y nuevamente aplicar sellador (realzar 4 veces este procedimiento). Aplicar una capa de pintura y dejarla secar (realizar	

Tabla 5.10. Pletinas para apoyo trasero.

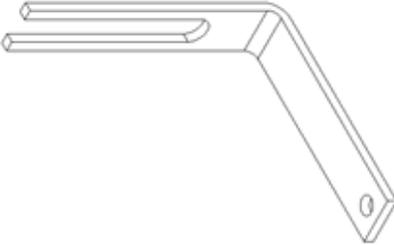
Etapa	Operación				Herramientas	cantidad	observación
1	Corte 				Sierra de mesa, trompo, lápiz, escuadra y cinta métrica	1	Longitud de corte 255mm.
2	Fresado						Realizar una corredera de 102x14 mm desde un extremo de la pletina.
3	Doblado				Dobladora de placa	3	Realizar tres dobles a 90° a la distancia especificada en el plano 8 del anexo B.
4	Taladrado 				Taladro de banco, marcador, vernier, brocas de 3/8" y 5/16" de diámetro.	4	Elaborar un orificio empleando una broca de 5/16" de diámetro para realizar agujeros pasantes según ubicación en el plano 10 del anexo B.
5	Roscado				Macho para rosca de 3/8" NC, gira macho.	2	Realizar rosca con el macho de roscar en los agujeros pasantes perforados de 5/16" de diámetro.
6	Pintura				Espray plateado	2	Aplicar dos capas de pintura en espray plateado anticorrosivo sobre toda la superficie de la pletina.

Tabla 5.1.1. Apoyo para espalda y glúteos.

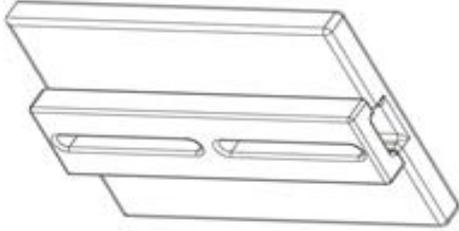
Etapa	Operación				Herramientas	cantidad	observación
1	Corte 				Sierra de mesa, caladora, trompo, lápiz ,escuadra y cinta métrica	1	Cortar una sección rectangular de 150x190 mm. Realizar dos correderas pasantes con la caladora según indica el plano 9 del anexo B.
2	Rectificado 				Lijas número 120, 80, 40 y lijadora automática.	Hasta que la superficie e este lisa.	Para la preparación de la superficie de la madera, se debe realizar lo siguiente: -Desbaste grueso con lijas número 40. -Desbaste medio con lija número 80. -Desbaste fino con lijas número 120.
3	Pintura 				Pistola neumática, tinta para madera, sellador y thinner.	7	Para el proceso de pintura se debe seguir el siguiente procedimiento: -Aplicar una capa de sellador y dejar secar, volver a lijar con lija #120 y nuevamente aplicar sellador (realizar 4 veces este procedimiento).

Tabla 5.12. Soporte de las rodillas

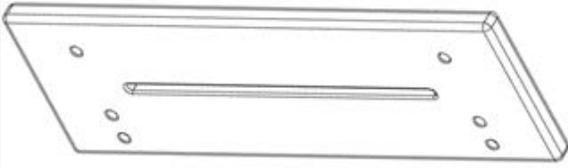
Etapa	Operación		Herramientas	cantidad	observación
1	Corte 		Sierra de mesa, caladora, trompo, lápiz ,escuadra y cinta métrica	1	Realizar una plantilla guía sobre la plancha de madera para cortar una sección rectangular de 150x470 mm. Luego elaborar dos correderas según indica el plano 6 del anexo B.
2	Taladrado 		Taladro de banco, marcador, brocas de 3/8" de diámetro y cinta métrica	6	Emplear una broca de 3/8" de diámetro, para realizar agujeros pasantes según la ubicación del plano 12 en el anexo B, con el fin de proporcionar la unión a los soportes tipo L.
3	Rectificado 		Lijas número 120, 80, 40 y lijadora automática.	Hasta que la superficie este lisa.	Para la preparación de la superficie de la madera, se debe realizar lo siguiente: -Desbaste grueso con lijas número 40. -Desbaste medio con lija número 80. -Desbaste fino con lijas número 120.
4	Pintura 	Pistola neumática, tinta para madera, sellador y thinner.	7	Para el proceso de pintura se debe seguir el siguiente procedimiento: Aplicar una capa de sellador y dejar secar, volver a lijar con lija #120 y nuevamente aplicar sellador (realizar 4 veces este procedimiento). Aplicar una capa de pintura y dejarla secar (realizar	

Tabla 5.13. Apoyos de las rodillas.

Etapa	Operación	Herramientas	cantidad	observación
1	Corte 	Sierra de mesa, caladora, trompo, lápiz ,escuadra y cinta métrica	1	Realizar una plantilla guía sobre la plancha de madera para cortar una sección rectangular de 150x150 mm. (ver plano 6 del anexo B)
2	Taladrado 	Taladro de banco, marcador, brocas de 3/8" de diámetro y cinta métrica	2	Emplear broca de 3/8" de diámetro para realizar el agujero pasante central.
3	Rectificado 	Lijas número 120, 80, 40 y lijadora automática.	Hasta que la superficie este lisa.	Para la preparación de la superficie de la madera, se debe realizar lo siguiente: -Desbaste grueso con lijas número 40. -Desbaste medio con lija número 80. -Desbaste fino con lijas número 120.
4	Pintura 	Pistola neumática, tinta para madera, sellador y thinner.	7	Para el proceso de pintura se debe seguir el siguiente procedimiento: Aplicar una capa de sellador y dejar secar, volver a lijar con lija #120 y nuevamente aplicar sellador (realzar 4 veces este procedimiento). Aplicar una capa de pintura y dejarla secar (realizar

Tabla 5.14. Soporte de los pies.

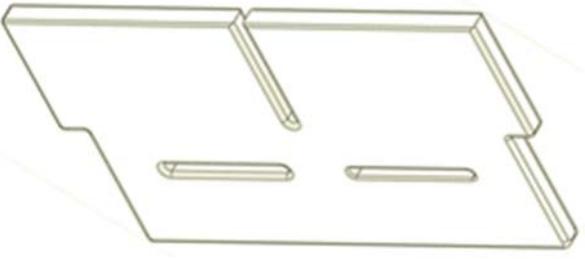
Etapa	Operación		Herramientas	cantidad	observación
1	Corte 		Sierra de mesa, caladora, trompo, lápiz , escuadra y cinta métrica	1	Realizar una plantilla guía sobre la plancha de madera para cortar una sección rectangular de 470x250 mm. Luego realizar tres correderas pasantes con la caladora según indica el plano 7 del anexo B.
2	Rectificado 		Lijas número 120, 80, 40 y lijadora automática.	Hasta que la superficie e este lisa.	Para la preparación de la superficie de la madera, se debe realizar lo siguiente: -Desbaste grueso con lijas número 40. -Desbaste medio con lija número 80. -Desbaste fino con lijas número 120.
3	Pintura 	Pistola neumática, tinta para madera, sellador y thinner.	7	Para el proceso de pintura se debe seguir el siguiente procedimiento: -Aplicar una capa de sellador y dejar secar, volver a lijar con lija #120 y nuevamente aplicar sellador (realzar 4 veces este procedimiento).	

Tabla 5.15. Elementos de sujeción para pies.

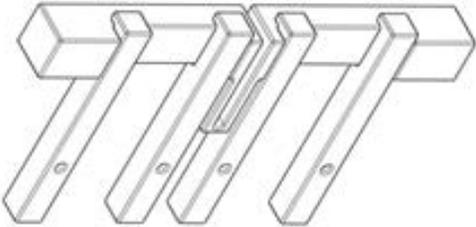
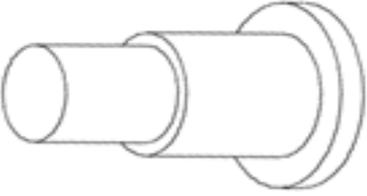
Etapa	Operación		Herramientas	cantidad	observación
1	Corte 		Sierra de mesa, caladora, trompo, lápiz, escuadra y cinta métrica	1	Para la realización de estas piezas se realizaron cortes en la madera, como se especifica en el plano 10 del anexo B.
2	Taladrado 		Taladro de banco, marcador, brocas de 3/8" de diámetro y cinta métrica	2	Emplear broca de 3/8" de diámetro para realizar el agujero pasante central.
3	Rectificado 		Lijas número 120, 80, 40 y lijadora automática.	Hasta que la superficie este lisa.	Para la preparación de la superficie de la madera, se debe realizar lo siguiente: -Desbaste grueso con lijas número 40. -Desbaste medio con lija número 80. -Desbaste fino con lijas número 120.
4	Pintura 		Pistola neumática, tinta para madera, sellador y thinner.	7	Para el proceso de pintura se debe seguir el siguiente procedimiento: Aplicar una capa de sellador y dejar secar, volver a lijar con lija #120 y nuevamente aplicar sellador (realizar 4 veces este procedimiento). Aplicar una capa de pintura y dejarla secar (realizar

Tabla 5.16. Eje superior.

Etapa	Operación		Herramientas	cantidad	observación	
1	Corte 			Cierra de mesa, trompo, lápiz, escuadra y cinta métrica	1	Longitud de corte 84 mm (ver plano 11 del anexo B).
2	Refrentado			Dobladora de placa	2	Para Refrentar: -Realizar centro punto y verificar que el eje este centrado. -Refrentar 7 mm en ambas caras a los
3	Tomeado			Taladro de banco, marcador, vernier, brocas de 3/8" y 5/16" de diámetro.	2	-Cilindrado n°1: Longitud: 55 mm y Diámetro: ϕ 25,4mm. -Cilindrado n°2: Longitud: 25 mm y Diámetro: ϕ 20 mm
	Pintura 	Espray plateado		2	Aplicar dos capas de pintura en espray plateado anticorrosivo sobre toda la superficie del eje.	

5.2 ANÁLISIS DE COSTO DE FABRICACIÓN DEL EQUIPO

Para la realización del análisis de costo, se consideraron los precios debido a la compra de los materiales de fabricación, herramientas, contratación de la mano de obra y ayuda técnica especializada. Al totalizar los costos de fabricación se realizó la comparación con equipos disponibles en el mercado nacional e internacional. En la tabla 5.17 se presenta una lista detallada de los costos correspondientes a la compra de materiales de fabricación.

Tabla 5.17. Lista de Costos de Materiales.

Material	Cantidad	Precio unitario	Costo total (Bs)
Madera de cedro	2 x 0,028x0,03 m	27.000Bs/ m ³	720
	2,25x0,16x0,03 m		
Compuesto de virola	1(1,22x2 m)	416 Bs/plancha	416
Chapilla de canto	2	3,57 Bs/unid	7,14
Broca de pala 1''	1	25 Bs	25
Broca 9/16 ''	1	60 Bs	60
Pintura en spray	2	40,17 Bs	80,34
Tornillos y tuercas	40	-----	60,71
Pega y lijas	2 pegas y 10 lijas	-----	90
Barra ϕ ¾ '' acero 1020	2 m	54,5 Bs/m	109,20
Barra ultraleno 1 ½ ''	1,30 m	265,18 Bs/m	297
Barra ultraleno 2''	0,40 m	264,18 Bs/m	125
Rueda fija poliuretano-nylon	2	66,07 Bs	132,14
Rueda loca poliuretano-nylon	2	50 Bs	100
tapicería	8 colchones		250
Costo total por materiales Bs			2472,53

Los procesos de torneado generaron un costo de Bs 400, mientras que los costos por mano de obra se estiman en un 40% de los costos por material de fabricación el cual es Bs 989, por lo tanto el costo total de construcción del equipo es de Bs 3861. Cabe destacar que el costo total del prototipo se puede reducir al fabricarlo en serie debido a un mejor aprovechamiento de material.

En la tabla 5.18 se aprecia la comparación de costos entre los equipos de bipedestación importados y el prototipo elaborado. El bipedestador GARBI posee solamente posicionamiento de 90°, siendo 50 % más costoso que el construido. El bipedestador HUMPHREY presenta movilidad angular, siendo 72 % más costoso que el construido.

Tabla5.18. Comparación de Costos.

equipo	imagen	costo		Diferencia (%)
		€	Bf	
Bipedestador GARBI		1370	7672	50 (+)
Bipedestador HUMPHREY		2450	13720	72 (+)

5.3 PRUEBAS FUNCIONALES DEL EQUIPO DE BIPEDESTACIÓN

Se aplicó una serie de pruebas físicas y funcionales al prototipo construido, donde se evaluó su resistencia y funcionabilidad en la aplicación de terapias de rehabilitación en niños con P.C.I. en el I.V.S.S.

5.3.2 Variación de Inclinación

Se realizó el accionamiento del mecanismo del dispositivo, con el fin de variar los niveles de inclinación para verificar el cumplimiento de los diferentes ángulos de terapia, rotando las barras pivotes principales y acoplando las barras pivotes secundarias a través de los eje superiores y las guías de acople, se fijaron las posiciones en 60° , 75° y 90° (ver figura 5.2). Además se comprobó el funcionamiento de los diferentes módulos de apoyo para la cadera, pecho, rodillas y pies. La variación de inclinación en el bipedestador proporciona al paciente y al terapeuta mejores condiciones de trabajo durante la aplicación de la terapia.

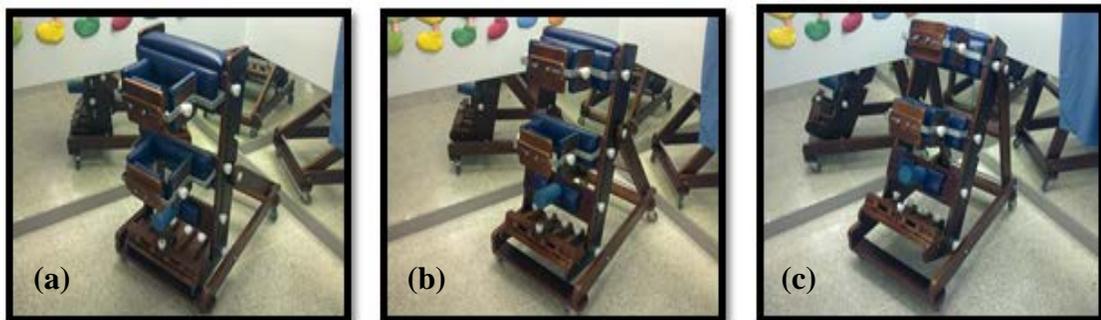


Figura 5.2. Bipedestador en posiciones. a) Posición en 90° , b) Posición en 75° y c) Posición en 60° .

5.3.1 Prueba de Resistencia Física del Dispositivo al Peso

Durante la aplicación de esta prueba se verificó la resistencia, que ofrece la estructura del equipo al someterla a una carga de 25 kg, la cual corresponde al peso de un niño de 5 años de percentil 97. En la figura 5.1 se aprecia el comportamiento

del dispositivo en los diferentes ángulos de inclinación, corroborando el correcto funcionamiento del mismo.



Figura 5.1. Prueba de resistencia al peso en los diversos ángulos de inclinación.

5.3.3 Pruebas Funcionales en las Instalaciones del Área de Fisiatría del I.V.S.S.

Al finalizar las evaluaciones de resistencia al peso y variación de inclinación, se realizaron las pruebas a niños con edades comprendidas entre 1 y 5 años que presentan PC durante una terapia de bipedestación. En estos se evaluando el desempeño del equipo. En la tabla 5.19 se representa la información sobre los pacientes que participaron durante la aplicación de esta prueba.

Tabla5.19.Pacientes de Terapia de Bipedestación.

Institución	Paciente	Edad (años)	Talla (m)	Peso (kg)	Tipo de P.C.	Duración (min)
I.V.S.S.	1	6	1,2	30	Cuadriparesia	30
I.V.S.S.	2	3	0,90	12,5	Hemiparesia	30

A los pacientes N°1 y N°2 se les realizó una terapia de bipedestación asistida. Antes de realizarles esta terapia se les practicó una serie de ejercicios físicos a cada

paciente, empleando el método Bobath con la finalidad de relajar sus músculos y articulaciones. Se acoplo el equipo en 90° de inclinación, posteriormente se ubicaron los pacientes en el dispositivo ajustando los módulos de apoyo como se describe a continuación.

Inicialmente se ajustaron los pies de cada niño en el soporte para pies, luego se ajustó la altura del soporte para rodillas, cadera y pecho. Luego se reguló el ancho de los soportes laterales en las rodillas, pecho y cadera al cuerpo del paciente. Por último se fijaron los apoyos traseros para la espalda y glúteos. Al finalizar el proceso de ajuste y posicionamiento se mantuvo al paciente por un lapso de 30 minutos en bipedestación (ver figura desde 5.3 hasta la 5.6).



Figura 5.3. Posicionamiento y Ajuste del Paciente N°1 en el Equipo de Bipedestación.



Figura 5.4. Paciente N°1. Terapia de Bipedestación.



Figura 5.5. Posicionamiento y Ajuste del Paciente N°2 en el Equipo de Bipedestación.



Figura 5.6. Paciente N°2. Terapia de Bipedestación.

5.4 ACEPTACIÓN DEL EQUIPO DE BIPEDESTACION POR PARTE DE LOS TERAPEUTAS

Al dispositivo se le realizó una valoración mediante una planilla de evaluación entregada a los terapeutas del área de fisioterapia del I.V.S.S y familiares de los pacientes (ver anexo C). Donde se pidió calificaran una serie de aspectos relacionados con el dispositivo en una escala del 1 al 5 (1 corresponde a la valoración menor y 5 a la valoración mayor) con la finalidad de cuantificar el desempeño y aceptación del dispositivo de bipedestación. Entre los aspectos a evaluar se encuentran los siguientes:

- A: Funcionabilidad del equipo
- B: Ergonomía del equipo en el área de trabajo
- C: Percepción de seguridad para el paciente durante la aplicación de terapia
- D: Practicidad del mecanismos de accionamiento
- E: Confiabilidad y seguridad durante la manipulación del equipo
- F: Adaptabilidad en el área de fisioterapia
- G: Ergonomía del dispositivo
- H: Estética del dispositivo

Entre las personas que participaron en la evaluación del equipo se encuentran:

Yomaira Gutiérrez: coordinadora de fisioterapeutas I y II.

Arléis Guevara: terapeuta ocupacional.

Geraldine Chirinos: terapeuta ocupacional.

Carmen Briceño: madre del paciente N°1.

Migdalia de Vizcaya: madre de la paciente N°2.

En la tabla 5.20 se aprecian los resultados por cada área evaluada, donde se considera que los aspectos con menor puntaje representan una característica del equipo que requiere de una mejora futura, para así lograr la mayor satisfacción de las necesidades durante las terapias de rehabilitación para los niños con P.C.I.

Tabla 5.20. Evaluación del dispositivo.

	Área de evaluación							
nombre	A	B	C	D	E	F	G	H
Yomaira Gutiérrez	5	4	4	4	4	4	4	4
Arléis Guevara	5	5	5	4	5	5	5	4
Geraldine chirinos	5	5	5	5	5	5	5	5
Carmen Briceño	5	5	5	5	5	5	5	5
Migdalia de Vizcaya	5	5	5	5	5	5	5	5
total	25	24	24	23	24	24	24	23

Al totalizar el puntaje otorgado a cada área en las hojas de evaluación llenadas por los terapeutas y familiares, se obtuvo una valoración cuantitativa del nivel de aceptación y desempeño del equipo de bipedestación. Además cabe destacar que todos los participantes en la evaluación resaltaron la funcionabilidad, buen desempeño e ingenio del dispositivo. Las áreas de evaluación con menor puntaje fueron la practicidad del mecanismo de accionamiento y la estética del dispositivo, sin embargo el promedio de la evaluación total del dispositivo fue de 24 de 25 puntos posibles, lo cual representa un alto nivel de aceptación en el IVSS.

CAPÍTULO 6

Conclusiones y Recomendaciones

Al finalizar las etapas de diseño, construcción y evaluación mediante las pruebas aplicadas al prototipo surgen las siguientes conclusiones y además se realizan las recomendaciones, tomando en cuenta la experiencia adquirida durante el desarrollo de este trabajo y las opiniones de los especialistas en el área de fisioterapia.

6.1 CONCLUSIONES

- ✓ Se diseñó y construyó un dispositivo de bipedestación que puede ser utilizado por pacientes que se encuentren en un rango de edades de 1 a 5 años.
- ✓ La posición de 90° es la más crítica y los elementos más esforzados del conjunto son las pletinas laterales, arrojando un factor de seguridad mínimo de 3,48.
- ✓ Cuando el dispositivo se encuentra bajo su condición más crítica de carga y posición sufre desplazamientos que no alteran la estabilidad del equipo y al mismo tiempo no afecta la seguridad del usuario.
- ✓ Se seleccionó la madera y el acero como materiales de construcción, debido a su accesibilidad en el mercado nacional y apropiadas propiedades mecánicas.
- ✓ El costo de fabricación del prototipo es menor a Bs 4.000 incluyendo material, elementos de sujeción, mano de obra y tapicería. Al compararlo con el costo del dispositivo más económico disponible en el mercado, se obtiene un ahorro del 50%. Se estima que la producción en serie disminuirá su costo.
- ✓ Las diferentes pruebas funcionales y físicas realizadas al prototipo mostraron su buen desempeño y su aceptación por parte de los usuarios, padres y fisiatras.

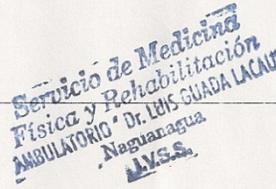
6.2 RECOMENDACIONES

Las siguientes recomendaciones que se presentan, son el resultado de las observaciones realizadas durante el proceso de diseño, fabricación y evaluación por el personal de fisioterapeutas del I.V.S.S, familiares de los pacientes y los autores de este trabajo.

- ✓ Mejorar la apariencia física, para así convertirlo en un dispositivo de rehabilitación más ameno a los ojos de los niños.
- ✓ Aumentar el espesor de la tapicería en los apoyos laterales y traseros para la espalda y glúteos, con el objetivo de generar mayor confort al paciente.
- ✓ Colocar una cinta métrica en la cara exterior de cada barra pivote principal, con el fin de facilitar al terapeuta la ubicación de los módulos de apoyo para los pies, rodillas, cadera y pecho al momento de ajustar el dispositivo a la anatomía del infante.
- ✓ Disminuir el peso de los módulos del pecho y cadera, reemplazando el material de las pletinas de acero por una aleación de aluminio comercial, previa realización de los cálculos de resistencia.

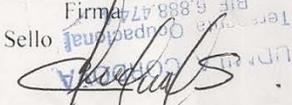
ANEXO C

Hojas de Evaluación

EVALUACIÓN DEL DISPOSITIVO DE BIPEDESTACION		FECHA: 25-4-12
Nombre y Apellido: <i>Adrián Guzmán</i>		
C.I.: <i>18.168553</i>		
Cargo: <i>Terapeuta Ocupacional</i>		
ASIGNAR LA PUNTUACION SEGÚN SU CRITERIO A CADA AREA DE EVALUACION EN UNA ESCALA DEL 1 AL 5.		
Puntuación: Muy malo= 1ptos, Malo = 2 pts, Regular = 3 pts, Bueno= 4 pts y Excelente = 5 pts		
AREA A EVALUAR	PUNTUACION	
A) Funcionabilidad del equipo.	<i>5</i>	
B) Ergonomía del equipo en el área de trabajo.	<i>5</i>	
C) Percepción de seguridad para el paciente.	<i>5</i>	
D) Practicidad del mecanismo de accionamiento.	<i>4</i>	
E) Confiabilidad y seguridad durante la manipulación del equipo.	<i>5</i>	
F) Adaptabilidad en el área de fisioterapia.	<i>5</i>	
G) Ergonomía del dispositivo.	<i>5</i>	
H) Estética del dispositivo.	<i>4</i>	
Observación: <i>Buen Aparte Al servicio De Rehabilitación Infantil, excelente Funcionabilidad.</i>		
Firma	 	
Sello		

EVALUACIÓN DEL DISPOSITIVO DE BIPEDESTACION		FECHA: 25-4-12
Nombre y Apellido: <i>Miguelica De Vizcaya</i>		
C.I.: <i>3.600.701</i>		
Cargo: <i>Representante de M. Nájera</i>		
ASIGNAR LA PUNTUACION SEGÚN SU CRITERIO A CADA AREA DE EVALUACION EN UNA ESCALA DEL 1 AL 5.		
Puntuación: Muy malo= 1ptos, Malo = 2 ptos, Regular = 3 ptos, Bueno= 4 ptos y Excelente = 5 ptos		
AREA A EVALUAR		PUNTUACION
A) Funcionabilidad del equipo.		<i>5</i>
B) Ergonomía del equipo en el área de trabajo.		<i>5</i>
C) Percepción de seguridad para el paciente.		<i>5</i>
D) Practicidad del mecanismo de accionamiento.		<i>5</i>
E) Confiabilidad y seguridad durante la manipulación del equipo.		<i>5</i>
F) Adaptabilidad en el área de fisioterapia.		<i>5</i>
G) Ergonomía del dispositivo.		<i>5</i>
H) Estética del dispositivo.		<i>5</i>
Observación: <i>Boon Aporte A la Institucion</i>		
Sello	Firma <i>Miguelica de Vizcaya</i>	Servicio de Medicina Física y Rehabilitación AMBULATORIO - Dr. LUIS GUADA LUCA Neuquén I.V.S.S.

EVALUACIÓN DEL DISPOSITIVO DE BIPEDESTACION		FECHA: 25/07/11
Nombre y Apellido: <i>Geraldine Quirinos</i>		
C.I.: <i>13.737.124</i>		
Cargo: <i>Terapeuta Ocupacional</i>		
ASIGNAR LA PUNTUACION SEGÚN SU CRITERIO A CADA AREA DE EVALUACION EN UNA ESCALA DEL 1 AL 5.		
Puntuación: Muy malo= 1ptos, Malo = 2 ptos, Regular = 3 ptos, Bueno= 4 ptos y Excelente = 5 ptos		
AREA A EVALUAR	PUNTUACION	
A) Funcionabilidad del equipo.	5	
B) Ergonomía del equipo en el área de trabajo.	5	
C) Percepción de seguridad para el paciente.	5	
D) Practicidad del mecanismo de accionamiento.	5	
E) Confiabilidad y seguridad durante la manipulación del equipo.	5	
F) Adaptabilidad en el área de fisioterapia.	5	
G) Ergonomía del dispositivo.	5	
H) Estética del dispositivo.	5	
Observación :		
<p><i>Es un dispositivo funcional que solventará las necesidades del servicio de fisioterapia infantil y la población de este grupo P.C. que aspiere a este grupo.</i></p> <p><i>Gracias!!!</i></p>		
<p>REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA INSTITUTO VENEZOLANO DE LOS SEGUROS SOCIALES CENTRO ASISTENCIAL "DR. JOSÉ GARCÍA" <i>Quirinos</i> SERVICIO DE MEDICINA FÍSICA Y REHABILITACIÓN Firma: <i>[Firma]</i></p>		

EVALUACIÓN DEL DISPOSITIVO DE BIPEDESTACION		FECHA: 25-04-12
Nombre y Apellido: Lidmila Cordova.		
C.I.: 6.888.474.		
Cargo: Fisioterapeuta Ocupacional III		
ASIGNAR LA PUNTUACION SEGÚN SU CRITERIO A CADA AREA DE EVALUACION EN UNA ESCALA DEL 1 AL 5.		
Puntuación: Muy malo= 1ptos, Malo = 2ptos, Regular = 3ptos, Bueno= 4ptos y Excelente = 5ptos		
AREA A EVALUAR		PUNTUACION
A) Funcionabilidad del equipo.		5
B) Ergonomía del equipo en el área de trabajo.		5
C) Percepción de seguridad para el paciente.		5
D) Practicidad del mecanismo de accionamiento.		5
E) Confiabilidad y seguridad durante la manipulación del equipo.		5
F) Adaptabilidad en el área de fisioterapia.		5
G) Ergonomía del dispositivo.		5
H) Estética del dispositivo.		5
Observación: Excelente dispositivo para el uso de Estimulación pediátrica, en el Ambulatorio Luis Guvelo Sacconi I.V.S.S.		
Firma:  Sello: 		INSTITUTO VENEZOLANO DE LOS SEGUROS SOCIALES CENTRO AMBULATORIO "DR. LUIS GUVELO SACCONI" SERVICIO DE MEDICINA FÍSICA Y REHABILITACIÓN

EVALUACIÓN DEL DISPOSITIVO DE BIPEDESTACION		FECHA: 25-4-12
Nombre y Apellido: <i>Yomaira Gutierrez</i>		
C.I.: <i>6941291</i>		
Cargo: <i>Coordinación Fisioterapia - Ft III</i>		
ASIGNAR LA PUNTUACION SEGÚN SU CRITERIO A CADA AREA DE EVALUACION EN UNA ESCALA DEL 1 AL 5.		
Puntuación: Muy malo= 1ptos, Malo = 2 pts, Regular = 3 pts, Bueno= 4 pts y Excelente = 5 pts		
AREA A EVALUAR	PUNTUACION	
A) Funcionabilidad del equipo.	<i>5</i>	
B) Ergonomía del equipo en el área de trabajo.	<i>4</i>	
C) Percepción de seguridad para el paciente.	<i>4</i>	
D) Practicidad del mecanismo de accionamiento.	<i>4</i>	
E) Confiabilidad y seguridad durante la manipulación del equipo.	<i>4</i>	
F) Adaptabilidad en el área de fisioterapia.	<i>4</i>	
G) Ergonomía del dispositivo.	<i>4</i>	
H) Estética del dispositivo.	<i>4</i>	
Observación: <i>Reforzar estética del dispositivo, asi como su ergonomía. Éxito!</i>		
Firma	<i>[Firma]</i>	
Sello	SERVICIO DE MEDICINA FÍSICA Y REHABILITACION CENTRO AMBULATORIO	

- [1] Daisuke Chugo, Wataru Matsuoka, Songmin Jia y Kunikatsu Takase (1999). Rehabilitation Walker with Standing-Assistance Device. Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.19, No.6 pp. 604-611, 2007.
- [2] Jacques Harnois, (2006). Dismountable stander multi-position. Patente US 7036512 B2.
- [3] Alan L. Tholkes ; Wesley Ovre ; Gabriel Routh , Jeffrey Schmidt , Michael Lokken , Duffy Trotter (2005).modular standing frame- patente US 7614639.
- [4] Larry Mullholand, (2005). Walking assistive device – patente US 7275554 B2.
- [5] Sarachini Mariana y Serrano Silvana (2008).Tecnologías para la Discapacidad, U.B.A/F.A.D.U/Metodología/Galán.
- [6] Fundación bobath, disponible en internet:
www.orzancongres.com/ponencias/parálisis/013.pdf
- [7] Dr. Cairo, Jefe de la URIAT Dr. Alonso, Médico adjunto de la URIAT (2007). XII jornadas científica de la sociedad española de rehabilitación infantil, disponible en:http://www.seri.es/Textos/ponencias%2007/J07_Ortesis_y_Ayudas_para_la_Marcha.pdf
- [8] Moreno H. y León N. (2011). Diseño y construcción de un dispositivo para asistir la terapia de bipedestación. Universidad de Carabobo escuela de ingeniería mecánica, Naguanagua edo. Carabobo, Venezuela.
- [9] Manzolini H. y Martínez, M. (2011). Diseño y construcción de un dispositivo para asistir el ganeo. Universidad de Carabobo escuela de ingeniería mecánica, Naguanagua edo. Carabobo, Venezuela.
- [10] Gadella J., Martínez J., y Martínez Cañadas J. (2006). Grupo de Investigación "Fisioterapia en la postura y el movimiento normal". Diplomatura en Fisioterapia. Facultad de Ciencias de la Salud, de la Actividad Física y del Deporte. Universidad Católica San Antonio de Murcia, Murcia España.
- [11] Rehabilitación pediátrica - parálisis cerebral infantil, (2006 – 2012). Físio Care. Centro de medicina deportiva y rehabilitación. Mérida, Yucatán, México.

- [12] Máximo Garzón, Universidad Nacional de Colombia (2002). Introducción al moldeamiento por elementos finitos con ANSYS. Disponible en Internet: www.estructuras.unal.edu.co/Pagina%20ANSYS/.../intro.pdf
- [13] Aros Oñate, N. y Aros Beltrán, M. (2010). Equipamiento para la discapacidad: propuesta de un bipedestador eléctrico infantil, Universidad de La Frontera (Chile).
- [14] Proyecto FONDEF nota técnica n° 1 (marzo 2003), la madera un producto natural. Universidad de Santiago de Chile departamento de ingeniería en obras civiles. Disponible en internet: <http://personal.telefonica.terra.es/web/hermeyer2/tipos%20de%20madera.pdf>
- [15] Williams J. y León H. (2009). Anatomía de la madera y clave de identificación para especies forestales vedadas en Venezuela. Universidad de los andes, facultad de ciencias forestales y ambientales, laboratorio de anatomía de maderas.
- [16] Herrera A. y Lanuza B. (1996). Especies para reforestación en Nicaragua. Nicaragua, Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA), Servicio Forestal. 185 p.