

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHIHUAHUA**  
**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

---

***“DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS  
AJUSTABLE PARA PACIENTES CON PARÁLISIS  
CEREBRAL”***

***TESIS***

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE**

***MAESTRA EN INGENIERÍA MECATRÓNICA***

**PRESENTA:**

***ING. PAMELA VALLES ÁLVAREZ***

**DIRECTOR DE LA TESIS:**

***M. C. José Salvador Méndez Aguirre***



**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



**CHIHUAHUA, CHIH., MEXICO, JUNIO 2019**

Chihuahua, Chih., a 17 de junio de 2019.

Dra María Elena Álvarez-Buylla Roces.  
Director de CONACYT.

P r e s e n t e.

Por este conducto aprovecho la ocasión para saludarla e informarle que a la fecha he obtenido el Grado de Maestría en Ingeniería Mecatrónica en la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Chihuahua. Motivo por el cual agradezco todo el apoyo brindado por esta Institución que Usted representa, el otorgamiento de esta beca que permitió dedicarme de tiempo completo a la realización de mis estudios de Posgrado y de esta manera lograr el cumplimiento del objetivo principal del convenio establecido.

Sin otro particular por el momento, me es grato quedar de Usted como su segura servidora, no sin antes reiterar mi agradecimiento. Muchas Gracias.

A t e n t a m e n t e

---

*Ing. Pamela Valles Álvarez*  
Exbecario CONACYT

c.c.p M.F. Luis Cardona Chacón.  
Jefe de la División de Posgrado e Investigación

**A mi esposo**

Porque tu amor y tu apoyo han sido mis principales motores durante esta etapa.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A mi esposo**

Por su apoyo incondicional y por impulsarme a creer en mí y a perseguir cada uno de mis sueños.

### **A mis padres y hermana**

Por creer en mí, por apoyarme en cada paso que doy, muchas gracias por haberme dado alas para volar y raíces para volver. Gracias a ustedes soy una persona llena de valores, humilde, y que hace todo lo que está en sus manos para ayudar a los otros.

### **A mi abuela Luz**

Por acompañarme en todos mis logros a lo largo de mi vida, gracias por cada abrazo, regaño, consejo sabio y comida caliente que me has dado. Siempre te voy a estar eternamente agradecida por estar conmigo desde el primer día de preescolar hasta el día de hoy.

### **A mi asesor Salvador Méndez**

Por su amistad, paciencia y guía durante el desarrollo de este proyecto. Gracias infinitas por compartir conmigo su conocimiento y experiencia.

### **A mi comité de tesis**

Agradezco al Dr. Rogelio Baray, Dr. Oscar Chávez y Dr. Carlos Méndez por haberme acompañado y guiado a lo largo de este proyecto.

### **A CONACYT y al Tecnológico Nacional de México**

Agradezco a CONACYT por haberme otorgada una beca para el estudio de mi posgrado y al Tecnológico de Nacional de México por brindarme los conocimientos necesarios para la realización de este proyecto.

### **Gracias a la vida**

Gracias a la vida por este nuevo triunfo, gracias a las personas que me apoyaron y creyeron en mí para la realización de esta tesis.

## **RESUMEN**

### **DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS AJUSTABLE PARA PACIENTES CON PARÁLISIS CEREBRAL**

Ing. Pamela Valles Álvarez  
Maestría en Ingeniería Mecatrónica  
División de Estudios de Posgrado e Investigación  
Instituto Tecnológico de Chihuahua  
Chihuahua, Chihuahua, 2019  
Director de tesis: M.C. José Salvador Méndez Aguirre

En este trabajo se presenta el diseño de una silla de ruedas para personas con discapacidad motriz causada por parálisis cerebral. El proyecto está enfocado en la investigación para diseñar una silla de ruedas económica, ajustable y que pueda ser fabricada con materiales que se obtengan en la entidad. Para lograrlo se utilizó un software de diseño asistido por computadora y estudios antropométricos.

Se compararon varios diseños de sillas de ruedas existentes para entender sus diferentes mecanismos y posteriormente se llevó a cabo la optimización de los mismos para lograr diseñar una silla de ruedas que cumpla con las necesidades de los pacientes con parálisis cerebral y de sus cuidadores.

## **ABSTRACT**

### **DESIGN OF AN ADJUSTABLE WHEELCHAIR FOR PATIENTS WITH CEREBRAL PARALYSIS**

This paper presents the design of a wheelchair for people with motor disabilities caused by cerebral palsy. The project is focused on the research to design an economical, adjustable wheelchair that can be manufactured with materials obtained in the entity. To achieve this, computer-aided design software and anthropometric studies were used.

Several designs of existing wheelchairs were compared to understand their different mechanisms and then the optimization of them was carried out in order to design a wheelchair that meets the needs of cerebral palsy patients and their caregivers.

# ÍNDICE

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<i>ix</i>
<b>LISTA DE TABLAS</b>	<i>xi</i>
<b>NOMENCLATURA</b>	<i>xii</i>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>CAPITULOS</b>	
<b>I. Conceptos generales</b>	<b>2</b>
1.1 Antecedentes	2
1.2 Descripción del tema de tesis	6
<b>II. Marco teórico</b>	<b>9</b>
2.1 Discapacidad y dispositivos de asistencia	9
2.1.1 Tipos de discapacidad	10
2.2 Discapacidad motriz y parálisis cerebral	11
2.2.1 Tipos de parálisis cerebral	13
2.2.2 Causas de la parálisis cerebral	15
2.3 Sillas de ruedas	15
2.3.1 Tipos de sillas de ruedas	16
2.3.2 Características de una silla de ruedas postural	17
2.3.3 Consideraciones de la OMS para diseñar y suministrar sillas de ruedas	18
2.4 Estándares	20
2.5 Estudio antropométrico	22
2.6 Diseño en ingeniería mecánica	23
2.6.1 Conceptos básicos en la resistencia de los materiales	25
2.6.2 Propiedades de los materiales	26
2.6.3 Teoría de falla: Energía máxima de distorsión	27
2.6.4 Análisis de elemento finito	30
<b>III. Metodología</b>	<b>34</b>
3.1 Proceso de diseño de la silla de ruedas	34
3.2 Medidas antropométricas	39
3.3 Comparación entre diversas sillas de ruedas en el mercado actual	43
<b>IV. Diseño</b>	<b>47</b>
4.1 Mecanismos principales	47
4.2 Diseño del asiento y del respaldo	48
4.3 Diseño del mecanismo telescópico	49

4.4	Diseño del tornillo de ajuste	49
4.5	Diseño del mecanismo de inclinación del respaldo	50
4.6	Diseño del mecanismo de inclinación en el espacio	51
4.7	Vista explosionada del diseño de la silla de ruedas	52
<b>V.</b>	<b>Análisis estático estructural</b>	<b>57</b>
5.1	Análisis estático del asiento de la silla de ruedas	57
5.2	Análisis estático del respaldo de la silla de ruedas	62
5.3	Análisis estático en el ensamble de la estructura de la silla de ruedas	67
<b>VI.</b>	<b>Fabricación del prototipo de la silla de ruedas</b>	<b>73</b>
6.1	Materiales y herramientas utilizados	73
6.2	Fabricación del asiento	75
6.3	Fabricación de la estructura fija de la silla de ruedas	76
6.4	Fabricación del respaldo	76
6.5	Fabricación del mecanismo de inclinación del respaldo	77
6.6	Fabricación del mecanismo de inclinación en el espacio	78
6.7	Fabricación del mecanismo telescópico	79
6.8	Fabricación de los tornillos de ajuste	80
6.9	Llantas delanteras, traseras y tubos antivuelco	82
6.10	Frenos	83
<b>VII.</b>	<b>Resultados y conclusiones</b>	<b>84</b>
7.1	Resultados con respecto a los objetivos propuestos	84
7.2	Resultados del diseño	88
7.3	Conclusiones y trabajo futuro	90
	<b>REFERENCIAS</b>	<b>92</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>95</b>



# LISTA DE FIGURAS

<b>I.</b>	<b>Conceptos generales</b>	<b>2</b>
Figura 1.1	Porcentaje de la población con discapacidad, por tipo de discapacidad	2
Figura 1.2	Distribución porcentual de la población de 3 años y más con discapacidad para caminar o subir escaleras que utiliza ayuda técnica, por tipo de ayuda	3
<b>II.</b>	<b>Marco teórico</b>	<b>9</b>
Figura 2.1	Tipos de sillas de ruedas a) sillas de ruedas para usuario temporal; b) silla de ruedas para usuario permanente y; c) sillas de ruedas para usuario que necesita apoyo postural	16
Figura 2.2	Partes de una silla de ruedas para usuario permanente	17
Figura 2.3	Partes de una silla de ruedas para apoyo postural	18
Figura 2.4	Medidas antropométricas	23
Figura 2.5	Pasos en el proceso de diseño	24
Figura 2.6	Diagrama esfuerzo-deformación del acero	27
Figura 2.7	a) Elemento con esfuerzos triaxiales, experimenta cambios de volumen y distorsión angular. b) Elemento sometido a tensión hidrostática que sólo experimenta cambio de volumen. c) Elemento con distorsión angular sin cambio de volumen	29
Figura 2.8	Grafica de la teoría de energía máxima de distorsión	30
Figura 2.9	Elemento de un resorte simple	32
Figura 2.10	a) Modelo del sistema; b) diagramas de cuerpo libre	33
<b>III.</b>	<b>Metodología</b>	<b>34</b>
Figura 3.1	Proceso de diseño para una silla de ruedas	35
Figura 3.2	Diagnóstico en pacientes encuestados	36
Figura 3.3	Distribución de los tipos de parálisis cerebral en los pacientes encuestados	36
Figura 3.4	Causa de la escoliosis en pacientes encuestados	37
Figura 3.5	Razones por las cuales la silla de ruedas no cumple con las necesidades de los pacientes encuestados	37
Figura 3.6	Razones por las cuales las actividades cotidianas se ven limitadas en los pacientes encuestados	38
Figura 3.7	Medio de adquisición de la silla de ruedas en los pacientes encuestados	38
Figura 3.8	Ingresos mensuales de las familias encuestadas	39
Figura 3.9	Precio que están dispuestos a pagar por una silla de ruedas según las familias encuestadas	39
<b>IV.</b>	<b>Diseño</b>	<b>47</b>
Figura 4.1	Modelo tridimensional de la silla de ruedas	47
Figura 4.2	a) Chasis tubular del asiento; b) Chasis tubular del respaldo	48
Figura 4.3	Mecanismo de plegado telescópico	49

Figura 4.4	Tornillo de ajuste	50
Figura 4.5	a) Mecanismo de sujeción y ajuste del respaldo vista lateral: b) Mecanismo de sujeción y ajuste del respaldo vista isométrica	51
Figura 4.6	Mecanismo de inclinación en el espacio	52
Figura 4.7	Vista explosionada parte 1	53
Figura 4.8	Vista explosionada parte 2	54
Figura 4.9	Vista explosionada parte 3	55
<b>V.</b>	<b>Análisis estructural</b>	<b>57</b>
Figura 5.1	Restricciones y cargas aplicadas a la parte lateral de la silla de ruedas	58
Figura 5.2	Análisis estático de esfuerzo nodal del lateral de la silla de ruedas	60
Figura 5.3	Análisis estático de desplazamiento del lateral de la silla de ruedas	60
Figura 5.4	Análisis estático de deformación unitaria del lateral de la silla de ruedas	61
Figura 5.5	Distribución del factor de seguridad del lateral de la silla de ruedas	62
Figura 5.6	Restricciones y cargas aplicadas al respaldo de la silla de ruedas	63
Figura 5.7	Análisis estático de esfuerzo nodal del respaldo de la silla de ruedas	64
Figura 5.8	Análisis estático de desplazamiento del respaldo de la silla de ruedas	65
Figura 5.9	Análisis estático de deformación unitaria del respaldo de la silla de ruedas	65
Figura 5.10	Distribución del factor de seguridad del respaldo de la silla de ruedas	66
Figura 5.11	Restricciones y cargas aplicadas al ensamble de la silla de ruedas	67
Figura 5.12	Análisis estático de esfuerzo nodal del ensamble de la silla de ruedas	69
Figura 5.13	Análisis estático de desplazamiento del ensamble de la silla de ruedas	70
Figura 5.14	Análisis estático de deformación unitaria del ensamble de la silla de ruedas	71
Figura 5.15	Distribución del factor de seguridad del ensamble de la silla de ruedas	72
<b>VI.</b>	<b>Fabricación del prototipo de la silla de ruedas</b>	<b>73</b>
Figura 6.1	Prototipo del asiento	75
Figura 6.2	Prototipo de la estructura rígida de la silla de ruedas	76
Figura 6.3	Prototipo del respaldo	77
Figura 6.4	Prototipo del mecanismo de ajuste del respaldo	78
Figura 6.5	Prototipo del mecanismo de inclinación en el espacio	79
Figura 6.6	Tornillo con leva	79
Figura 6.7	Prototipo del mecanismo telescópico desmontado	80
Figura 6.8	Tornillo con leva y perno de tirón	81
Figura 6.9	Prototipo de los tornillos de ajuste	81
Figura 6.10	Llantas delanteras, traseras y tubos antivuelco	82
Figura 6.11	Freno para silla de ruedas con abrazadera de montaje	83
<b>VII.</b>	<b>Resultados y conclusiones</b>	<b>84</b>
Figura 7.1	Propiedades físicas del prototipo de la silla de ruedas	86
Figura 7.2	Prototipo de la silla de ruedas ensamblado	87

## LISTA DE TABLAS

<b>I.</b>	<b>Conceptos generales</b>	<b>2</b>
<b>II.</b>	<b>Marco teórico</b>	<b>9</b>
Tabla 2.1	Clasificación de los tipos de discapacidad según el INEGI.	11
Tabla 2.2	Clasificación de las enfermedades motrices según su origen	12
Tabla 2.3	Clasificación de la parálisis cerebral	13
Tabla 2.4	Métodos de predicción de falla	27
<b>III.</b>	<b>Metodología</b>	<b>34</b>
Tabla 3.1	Medidas antropométricas recabadas en centímetros	41
Tabla 3.2	Análisis estadístico de los datos antropométricos	42
Tabla 3.3	Comparación entre diversas sillas de ruedas	45
Tabla 3.4	Requisitos de diseño y criterios de selección	46
<b>IV.</b>	<b>Diseño</b>	<b>56</b>
Tabla 4.1	Tabla de elementos de la silla de ruedas	56
<b>V.</b>	<b>Análisis estructural</b>	<b>57</b>
Tabla 5.1	Propiedades del material del asiento y respaldo de la silla de ruedas	57
Tabla 5.2	Detalles de la malla del asiento	59
Tabla 5.3	Detalles de la malla del respaldo	63
Tabla 5.4	Detalles de la malla del ensamble	68
<b>VI.</b>	<b>Fabricación del prototipo de la silla de ruedas</b>	<b>73</b>
Tabla 6.1	Características físicas para el tubo C40	73
Tabla 6.2	Materiales y herramientas utilizadas	74
<b>VII.</b>	<b>Resultados y conclusiones</b>	<b>84</b>
Tabla 7.1	Tabla comparativa de análisis estático bajo diferentes cargas	89

## NOMENCLATURA

$\sigma$	Esfuerzo normal directo
$F$	Fuerza
$A$	Área
$\tau$	Esfuerzo cortante
$A_s$	Área cortante
$\varepsilon$	Deformación
$\nu$	Coefficiente de Poisson
$l_f$	Longitud final
$l_o$	Longitud inicial
$h_f$	Altura final
$h_o$	Altura inicial
$E$	Módulo de elasticidad
$S_u$	Resistencia a la tensión
$S_y$	Resistencia de fluencia
$\sigma_{prom}$	Esfuerzo promedio
$\sigma'$	Esfuerzo efectivo de Von Mises
$\sigma_1$	Esfuerzo principal máximo
$\sigma_2$	Esfuerzo principal mínimo
$N$	Factor de seguridad
$k$	Índice de elasticidad
$f_{i,e}$	Fuerzas externas
$i$ y $j$	Nodos
$u_1$ y $u_2$	Desplazamientos nodales



## **Introducción**

La Organización Mundial de la Salud (OMS), en su Informe mundial sobre la discapacidad del 2011, estimó que más de mil millones de personas, esto es el 15% de la población mundial presentan algún tipo de discapacidad, de los cuales el 2.2% presentan dificultades de funcionamiento. A pesar de que nuestro país no cuenta con estadísticas confiables y actuales, se sabe que la parálisis cerebral infantil es la causa más frecuente de discapacidad en los niños.

Para las personas con discapacidad motriz, principalmente aquellas que requieran de una silla de ruedas para poder trasladarse, se les dificulta adquirir el dispositivo apropiado debido de la falta de educación y regularización que existe en nuestro país con respecto al tema de los dispositivos de asistencia. Como consecuencia a la poca concientización que existe en la sociedad, las sillas de ruedas que se encuentran disponibles en México no se ven obligadas a someterse a pruebas de funcionalidad ni calidad. Aunado a esto, las sillas de ruedas para pacientes con parálisis cerebral, deben de ser del tipo que brinden un correcto apoyo postural, lo cual las hace inasequibles debido a sus precios tan elevados.

Debido a la falta de acceso que tienen las personas con parálisis cerebral a una silla de ruedas que cumpla con sus necesidades y que sea la silla de ruedas la que se ajuste al usuario y no el cuerpo del usuario a la silla de ruedas, en el presente trabajo se plantea el diseño de una silla de ruedas de tamaño ajustable para personas con parálisis cerebral.

En el capítulo I se presentan los antecedentes y la justificación del trabajo. En el capítulo II se desarrolla el marco teórico, se muestran los tipos de sillas de ruedas actuales y datos sobre las personas con discapacidad. El capítulo III muestra los datos que se utilizaron para el diseño. En el capítulo IV se desarrolla el diseño de la silla de ruedas, los capítulos V, VI y VII muestran el análisis por computadora con el método de elementos finitos, la fabricación y los resultados.

## Capítulo I

### CONCEPTOS GENERALES

#### 1.1 Antecedentes

La OMS estimó en su Informe mundial sobre la discapacidad del 2011 que más de mil millones de personas, esto es, el 15% de la población mundial presentan algún tipo de discapacidad, de los cuales el 2.2% presentan dificultades de funcionamiento. Según la Carga Mundial de Morbilidad, que mide la discapacidad infantil (0 -14 años), se estima que son 95 millones de menores los que sufren alguna discapacidad [1].

En nuestro país, el INEGI en el 2014 dio a conocer que, de los 120 millones de personas en el país, 7.1 millones de habitantes presentaban alguna dificultad para realizar diferentes actividades, esto se muestra en la figura 1.1, en la que se observan las 8 actividades evaluadas por la Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica 2014 (ENAD). Las 3 actividades con mayor porcentaje de población afectada son: discapacidad para caminar, subir o bajar usando sus piernas con 64.1%, discapacidad para ver con 58.3% y dificultad para aprender, recordar o concentrarse con 38.8% [2].

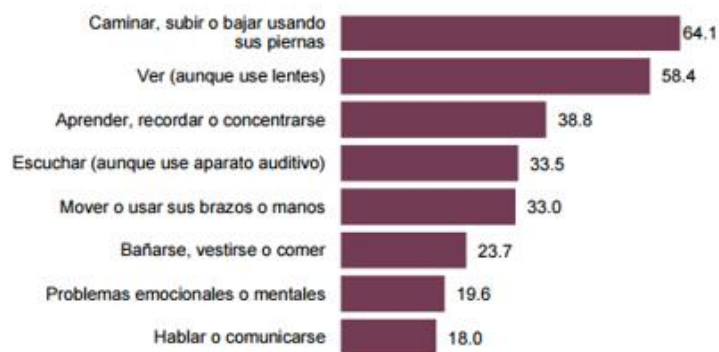


Figura 1.1 Porcentaje de la población con discapacidad, por tipo de discapacidad 2014 [2].

En relación con la discapacidad para caminar o subir escaleras y dispositivos de asistencia, se observa en la figura 1.2 que el 37% de las personas usan silla de ruedas, el 24.2% usan bastón, el 17.7% necesitan la ayuda de alguien para poder moverse y el 15.6% usan andadera [2].

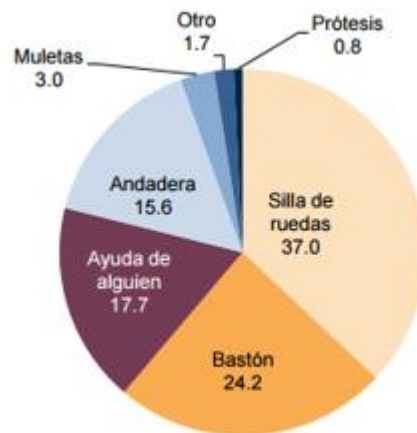


Figura 1.2 Distribución porcentual de la población de 3 años y más con discapacidad para caminar o subir escaleras que utiliza ayuda técnica, por tipo de ayuda 2014 [2].

En el 2014 el Estado de Chihuahua se encontraba entre las 10 entidades federativas con mayor porcentaje de personas con discapacidad, es decir, que aproximadamente 241,400 personas en nuestro estado presentaron alguna dificultad para realizar las actividades mencionadas anteriormente. De esta última cifra el 65.4% presentaron discapacidad para caminar, subir o bajar usando sus piernas [2].

Según la OMS, alrededor de 70 millones de personas necesitan sillas de ruedas, pero solo entre el 5% y el 15% de ellas tienen acceso a una [3].

Debido a la poca oportunidad que tienen los pacientes con parálisis cerebral en nuestro país de adquirir una silla de ruedas adecuada a su condición, este trabajo presenta un diseño de bajo costo que cumpla con dos de las necesidades físicas de los usuarios, es decir, la silla de ruedas de ser ajustable y debe brindar un apoyo postural



correcto, para lograr estos aspectos es necesario considerar las condiciones ambientales de operación de la silla de ruedas.

La silla de ruedas es uno de los dispositivos de asistencia más usados, que tiene como objetivo mejorar la movilidad personal. Se cree que las primeras sillas de ruedas se fabricaron el año 4000 a.C, sin embargo, no fue hasta el año 1595 que se documentó la primer silla de ruedas [4][5].

A lo largo de los años las sillas de ruedas han evolucionado. Hoy en día en los países desarrollados se pueden encontrar sillas de ruedas manuales, eléctricas, ultra ligeras, para deportes, que suben y bajan escaleras, entre otras. Mientras que en los países en vías de desarrollo este tipo de sillas de ruedas tan especializadas están sólo disponibles para una pequeña parte de la población, mientras que la mayoría de las personas con discapacidad para caminar sólo tienen acceso a las sillas de ruedas llamadas “diseñadas para todos” (design-for-all wheelchairs), este término se refiere a que la silla de ruedas presenta un diseño universal y que no está personalizada para las necesidades de cada usuario [6].

En la actualidad se trabaja en proyectos innovadores que ayuden a lograr que las sillas de ruedas se adapten a las necesidades de las personas con discapacidad. En la siguiente lista se presentan los proyectos relacionados con el diseño de sillas de ruedas, su número de solicitud y una breve descripción de cada uno de ellos. Estos proyectos se obtuvieron de la base de datos del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) [7].

1. Modelo Industrial de silla de ruedas (MX/f/2014/003431)

Descripción no disponible.

2. Silla de ruedas multifuncional con sistema reclinable de alta tecnología para personas con patologías motrices diferentes (MX/u/2013/000232)

En este proyecto se trabajó en el diseño de una silla de ruedas con capacidad de convertirse en camilla, con la finalidad de ayudar a trasladar a la persona con discapacidad.

3. Silla de ruedas con sistema vibratorio con frecuencia ajustable de múltiples angulaciones para el respaldo y reposa-piernas (MX/a/2009/011073)

Este proyecto se refiere a una silla de ruedas con vibradores distribuidos y un sistema mecánico que permite que el respaldo y reposa-piernas se posicionen en diferentes angulaciones, para lograr que el usuario la adapte a sus necesidades sintiéndose cómodo.

4. Sistema de respaldo modular para una silla de ruedas (PA/a/1999/005243)

Este proyecto trata sobre un soporte de espalda adaptado para colocarse entre dos postes verticales que se extiende hacia arriba desde la parte posterior del asiento y un chasis de soporte que se puede ajustar a una inclinación y profundidad deseada.

5. Silla de ruedas con base rodante ajustable (PA/a/1997/000920)

Este proyecto se refiere a una silla de ruedas en la cual, al momento de contraer los dos la base de la silla, la cual tienen una articulación en forma de X, también se contraen las columnas de las ruedas delanteras, logrando que la longitud y el ancho de la silla de ruedas se reduzcan al mismo tiempo.

6. Silla de ruedas ergonómica (9703864)

Esta silla de ruedas se caracteriza por ser plegable, por tener un asiento rígido dividido a la mitad y un respaldo anatómico abatible hacia adelante.

7. Modelo Industrial de carriola para pacientes con parálisis cerebral (MX/f/2011/003958)

Descripción no disponible.

8. Silla de corrección postural para parálisis cerebral (9702219)

Esta silla permite el traslado a niños de 9 a 14 años y además ayuda al posicionamiento de los niños con parálisis cerebral. Cuenta con los siguientes aditamentos: cabecera, respaldo con ventilación, cojín abductor y mecanismo de plegado.

Al revisar la descripción de cada uno de los proyectos antes mencionados se observó que ninguno es igual al tema de esta tesis, que es “Desarrollar el diseño una silla de ruedas de tamaño ajustable y que pueda ser fabricada con materiales locales, para pacientes con parálisis cerebral”.

## **1.2 Descripción del tema de tesis**

La Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF), define a la discapacidad como un término que “engloba las deficiencias, las limitaciones en la actividad y las restricciones en la participación”, es decir, que la discapacidad no solo tiene que ver con la condición de salud que presenta una persona, sino que también está relacionada con los factores personales y externos en los que se desenvuelve [8].

Según la OMS en el 2016, un 15% de la población total padecía de alguna discapacidad y esta cantidad va en aumento debido al envejecimiento de la población y al aumento de enfermedades crónicas [9]. En nuestro país, en el 2016 el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) dio a conocer que el 64.1% de 7.1 millones de personas con discapacidad en México, tenían dificultad para caminar [2].

Las personas con discapacidad se enfrentan a muchos obstáculos, uno de ellos es a la prestación insuficientes de servicios, incluyendo atención a la salud, rehabilitación, asistencias y apoyo [1]. A las personas con limitaciones para caminar, se les dificulta adquirir una silla de ruedas que cumpla con sus necesidades, esto es debido a que sus precios son muy elevados, sobre todo si se trata de una silla de ruedas con apoyo postural, las cuales son usadas por pacientes con parálisis cerebral. En la página de

internet de SpinLife se encontró que los precios de las sillas de ruedas en Estados Unidos son superiores a los 2,000 dólares. Un ejemplo es una silla de ruedas pediátrica modelo Kanga TS Pediatric Wheelchair de la marca Drive Medical cuesta 1,950 dólares con descuento, pero su precio de lista es de 2,450 dólares, con fecha de consulta del 25 de octubre de 2017 [10].

A pesar de que nuestro país no cuenta con estadísticas confiables y actuales, se sabe que la parálisis cerebral infantil es la causa más frecuente de discapacidad en los niños [11].

Uno de los principales problemas que se les presenta a las personas con limitación para caminar, es la elección de una silla de ruedas que cumpla con sus necesidades, ya que se deben de tomar en cuenta muchos criterios para su elección. Las dimensiones de la silla de ruedas forman parte de estos criterios de elección y deben de adaptarse a las dimensiones del paciente. En el mercado actual se pueden encontrar silla de ruedas para parálisis cerebral que sean capaces de cumplir con las necesidades del usuario. Sin embargo, cuando nos referimos al tamaño de la silla de ruedas se encuentra que diversas marcas como Quicki, Sunrise, Drive Medical, entre otras, las venden en tres modalidades: chica, mediana y grande [3][12].

Por otra parte, también se pueden encontrar fabricantes, los cuales hacen las sillas de ruedas a la medida del paciente. No obstante, estas sillas de ruedas no se adaptan a los cambios de estatura y complejión física causados por el desarrollo natural del cuerpo o cambios en su estructura ósea debido a su condición de salud y las familias de los pacientes se ven obligados a adquirir nuevas sillas de ruedas, lo cual representa un gasto que muchas de las familias no pueden afrontar.

Por esta razón en el presente trabajo se desarrolla el diseño de una silla de ruedas para parálisis cerebral con características que le permitan adaptarse al usuario, como son: que sea de bajo costo, que tenga mayor rango de ajuste y que brinde una postura correcta para evitar lesiones.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Discapacidad y dispositivos de asistencia

Dentro de los temas de salud de la OMS se señala que la discapacidad es un reflejo de la interacción que existe entre las características del organismo humano y las características de la sociedad en la que vive [13].

La vida de las personas con discapacidad se ve afectada debido a que son más propensos a presentar:

- Afecciones secundarias; como úlceras por presión, infecciones urinarias, osteoporosis y dolor crónico.
- Comorbilidad; que son las enfermedades que se agregan a la enfermedad primaria pero no se relacionan con ella, por ejemplo, diabetes sacarina.
- Enfermedades relacionadas con la edad; debido al envejecimiento prematuro presente en algunos grupos de personas con discapacidad.
- Adopción de comportamientos nocivos para la salud; como mala alimentación y poca actividad física.
- Mayor frecuencia de muerte prematura.

Aunado a esto, las personas con discapacidad también experimentan obstáculos que les impiden el acceso a la asistencia sanitaria. Estas barreras son: costos excesivos, oferta limitada de servicios, obstáculos físicos y personal sanitario poco calificado [9].

La OMS estima que alrededor de 1000 millones de personas en el mundo necesitan al menos un dispositivo de asistencia y que para el año 2050 esta cifra se duplicará. Los dispositivos de asistencia son productos que ayudan a mantener o

mejorar la autonomía de una persona, permitiéndole una vida sana, independiente y productiva. La razón principal por la cual sólo 1 de cada 10 personas que necesitan un dispositivo de asistencia tienen acceso a él, es la poca asequibilidad de estos productos en países de ingresos bajos [3] [13].

### 2.1.1 Tipos de discapacidad

En México, el INEGI, se dio a la tarea de realizar un clasificador del tipo de discapacidad, basándose en la estructura de la Clasificación Internacional del Funcionamiento y la Discapacidad (CIDDM), con el fin de contar con información estadística sobre la población con discapacidad [14].

Esta clasificación del INEGI está organizada en 2 niveles: grupo y subgrupo. El primer nivel está conformado por 5 grupos principales, que corresponden a discapacidades:

1. Sensoriales y de la comunicación: que incluyen deficiencias y discapacidades auditivas y del habla.
2. Motrices: son las deficiencias y discapacidades para caminar, manipular objetos y coordinar movimientos.
3. Mentales: este grupo incluye las deficiencias intelectuales y conductuales.
4. Múltiples y otras: que contiene combinaciones de los grupos anteriores, también se incluyen las discapacidades no consideradas en los grupos anteriores.
5. Claves especiales.

El segundo nivel de esta clasificación corresponde a los subgrupos que se muestran en la tabla 2.1.

## 2.2 Discapacidad motriz y Parálisis Cerebral

La discapacidad motriz se puede definir como una alteración en el aparato motor causada por un mal funcionamiento del sistema nervioso central, sistema muscular, sistema óseo o una interrelación de los tres sistemas. Estas alteraciones generan dificultad o imposibilita el movimiento de una o varias partes del cuerpo [15].

Tabla 2.1. Clasificación de los tipos de discapacidad según el INEGI.

Grupo	Subgrupo
1. Discapacidades sensoriales y de la comunicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Discapacidad para ver</li> <li>• Discapacidad para oír</li> <li>• Discapacidades para hablar</li> <li>• Discapacidades de la comunicación y comprensión del lenguaje</li> <li>• Insuficientemente especificadas de este grupo</li> </ul>
2. Discapacidades motrices	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Discapacidades en las extremidades inferiores, tronco, cuello y cabeza</li> <li>• Discapacidades de las extremidades superiores</li> <li>• Insuficientemente especificadas de este grupo</li> </ul>
3. Discapacidades mentales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Discapacidades intelectuales (retraso mental)</li> <li>• Discapacidades conductuales y otras mentales</li> <li>• Insuficientemente especificadas de este grupo</li> </ul>
4. Discapacidades múltiples y otras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Discapacidades múltiples</li> <li>• Otro tipo de discapacidades</li> <li>• Insuficientemente especificadas de este grupo</li> </ul>
5. Claves especiales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de discapacidad no especificada</li> <li>• Descripciones que no corresponden al concepto de discapacidad</li> <li>• No sabe</li> <li>• No especificado general</li> </ul>

La discapacidad motriz se puede clasificar dependiendo de su origen, en la tabla 2.2 se puede observar que la parálisis cerebral es causada por un daño a nivel

encefálico, y los diferentes tipos de este trastorno se deben a que el daño es causado en diferentes áreas del encéfalo dañadas.

Tabla 2.2. Clasificación de las enfermedades motrices según su origen [16].

<b>Origen</b>	<b>Enfermedades</b>
Encefálica	<ul style="list-style-type: none"><li>• Parálisis cerebral</li><li>• Traumatismo craneoencefálico</li><li>• Tumores</li><li>• Ataxia</li></ul>
Espinal	<ul style="list-style-type: none"><li>• Espina bífida</li><li>• Lesiones modulares degenerativas</li><li>• Traumatismo medular</li><li>• Atrofia espinal</li></ul>
Muscular	<ul style="list-style-type: none"><li>• Miopatías (distrofia muscular de Duchenne, de Becker, etc.)</li></ul>
Osteoarticular	<ul style="list-style-type: none"><li>• Malformaciones congénitas (artrogriposis, dismelia)</li><li>• Malformaciones distróficas (osteogénesis imperfecta)</li><li>• Reumatismos infantiles</li><li>• Lesiones osteoarticulares por desviación del raquis (cifosis, lordosis, escoliosis)</li></ul>

Sin embargo, la discapacidad motriz también se puede clasificar en dos trastornos [16]:

- Trastornos físicos periféricos: los cuales afectan huesos, articulaciones, extremidades y músculo.
- Trastornos neurológicos: que significan que el daño ha sido causado en el cerebro. En este tipo de trastorno se localiza la parálisis cerebral, los traumatismos craneoencefálicos y los tumores en el cerebro.

La parálisis cerebral es un trastorno de los movimientos y la postura debido a un defecto de inmadurez cerebral y resulta de una lesión en el sistema nervioso central en desarrollo, la cual puede ocurrir dentro del útero, durante el parto o durante los 2 primeros años de vida y es la causa principal de discapacidad física en niños [17][18].



Los niños con parálisis cerebral no sólo sufren retrasos motores, si no también problemas de habla, visuales, auditivos y epilepsias, es importante mencionar que las personas con este trastorno son más propensas a sufrir de aislamiento y rechazo social, lo cual puede generar problemas adicionales de salud mental [19].

La parálisis cerebral es una enfermedad no progresiva, es decir que el daño en el cerebro no se puede extender ni repetir, pero el trastorno de movimiento y postura puede ser mejorado a través de un buen manejo de la postura del paciente, pero también puede ser severamente afectado si no se tienen los cuidados necesarios para lograrla [20].

### 2.2.1 Tipos de parálisis cerebral

Como se muestra en la tabla 2.3 los tipos de parálisis cerebral pueden clasificarse por sus efectos funcionales, por la topografía corporal o por la localización del daño del sistema nervioso central. Dentro de los efectos funcionales se encuentran la espasticidad, la atetosis, ataxia y mixta. Mientras que en la clasificación de la topografía corporal están la tetraplejía, diplejía, hemiplejía y monoplejía [15], [16] y [17].

Tabla 2.3. Clasificación de la parálisis cerebral.

Según los efectos funcionales	Según la topografía corporal
Espasticidad	Tetraplejía
Atetosis	Diplejía
Ataxia	Hemiplejía
Mixta	Monoplejía

#### 1. Efectos funcionales

- Espasticidad: Se produce como consecuencia de una lesión localizada en la corteza cerebral, es decir en el área responsable del movimiento. El daño en esta parte se manifiesta por la incapacidad de ejecutar movimientos voluntarios finos,

generalmente los movimientos son rígidos, bruscos y lentos. Los músculos de la boca y el rostro son afectados, por lo cual se genera un problema en la alimentación y el habla.

- **Atetosis:** La lesión se ubica en el área del cerebro llamada sistema extrapiramidal, la cual es la que se encarga de mantener el estado de reposo y de los movimientos involuntarios. Este tipo de lesión ocasiona movimientos exagerados, desde hiperextensión hasta flexión total o parcial.
- **Ataxia:** En este tipo de parálisis cerebral la lesión se encuentra en el cerebelo o en sus vías de conexión, lo cual produce falta de coordinación en los movimientos, trastornos de equilibrio e hipotonía.

### 2. Topografía corporal

- **Tetraplejía:** En este caso se produce afectación de las extremidades superiores e inferiores. La tetraplejía es la forma más grave de parálisis cerebral, por lo que se debe de contar con un correcto posicionamiento de la silla de ruedas con adaptaciones.
- **Diplejía:** Se producen afectaciones en las extremidades inferiores. Algunas personas con este tipo de afectación pueden usar muletas, andadores y sillas autopropulsadas.
- **Hemiplejía:** Se refiere a la afectación de sólo un lado del cuerpo, ya sea el derecho o el izquierdo, generalmente la extremidad superior suele estar más dañada que la inferior.
- **Monoplejía:** En este caso sólo una extremidad se ve afectada.

### **2.2.2 Causas de la parálisis cerebral**

En muchos de los casos las causas de la parálisis cerebral se conocen, pero existen muchos otros casos en los cuales la causa no es conocida. Como se mencionó anteriormente el daño en el sistema nervioso central se puede dar durante el embarazo, en el parto o durante los 2 primeros años de vida [20].

En la etapa prenatal la lesión en el cerebro del bebé puede ser ocasionado por:

- Infecciones en la madre, como sarampión alemán, herpes e incluso hasta gripe.
- Ingesta de drogas o medicamentos por parte de la madre.
- Placenta insuficiente, por debajo de la cabeza del bebé.
- Incompatibilidad entre la sangre de la madre y la del bebé.

Durante el parto se puede correr el riesgo de que no llegue suficiente oxígeno al bebé, lo cual puede llegar a causa parálisis cerebral. Los partos prematuros también aumentan la posibilidad de desarrollar este trastorno. En los primeros años de vida, la parálisis cerebral puede ser adquirida a causa de lesiones en la cabeza e infecciones cerebrales, como la meningitis [21].

### **2.3 Sillas de ruedas**

Las sillas de ruedas son dispositivos de asistencia que proporcionan apoyo para sentarse y movilidad a personas que tienen dificultad para caminar o desplazarse. Una silla de ruedas es apropiada cuando:

- Satisface las necesidades del usuario y las condiciones del ambiente en el que se desenvuelve.
- Ofrece un buen ajuste y apoyo postural.
- Es segura y durable.

- Está disponible y se puede mantener a precios razonables en el país del usuario.

### 2.3.1 Tipos de sillas de ruedas

Con frecuencia, las sillas de ruedas vienen en un breve repertorio de tamaños y sólo permiten algunos ajustes básicos, también pueden venir con accesorios, pero esto depende del tipo de sillas de ruedas. Se puede decir que hay 3 tipos de sillas de ruedas: a) sillas de ruedas para usuario temporal; b) silla de ruedas para usuario permanente y; c) sillas de ruedas para usuario que necesita a apoyo postural como se muestra en la figura 2.1 [4].

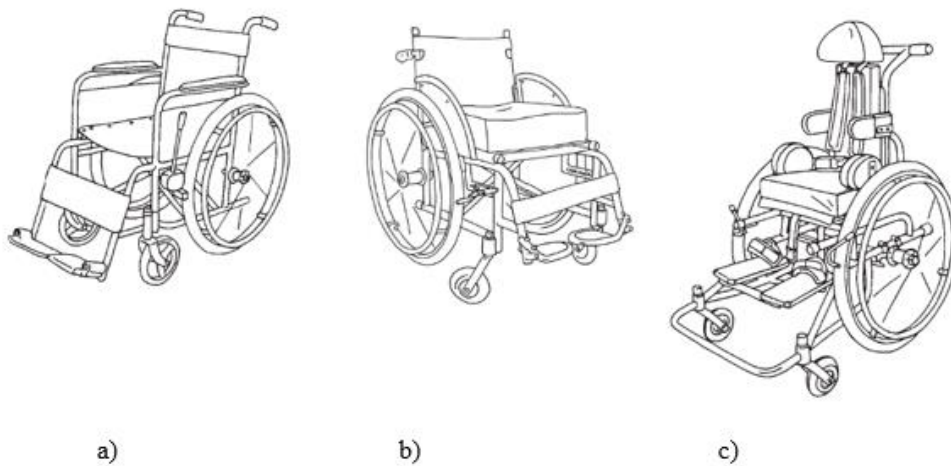


Figura 2.1. Tipos de sillas de ruedas a) sillas de ruedas para usuario temporal; b) silla de ruedas para usuario permanente y; c) sillas de ruedas para usuario que necesita apoyo postural [4].

Las sillas de ruedas de los hospitales son ejemplos de sillas de ruedas temporales, ya que sólo son usadas para trasladar al paciente y no están diseñadas para proporcionar apoyo postural ni para aliviar la presión. En cambio, las sillas de ruedas para usuarios permanentes deben de ajustar bien, proporcionar buen apoyo postural y aliviar los puntos de presión. Las sillas de ruedas para usuarios que necesitan apoyo

postural deben de ser muy ajustables o modificadas para cada persona y se les agregan componente que ayuden a brindar apoyo postural [4].

### 2.3.2 Características de una silla de ruedas postural

Las sillas de ruedas para usuarios que necesitan apoyo postural deben de contar con mayor número de componentes para lograr dar la postura correcta y evitar lesiones. En la figura 2.2 se puede observar las partes de una silla de ruedas para usuario permanente [4].

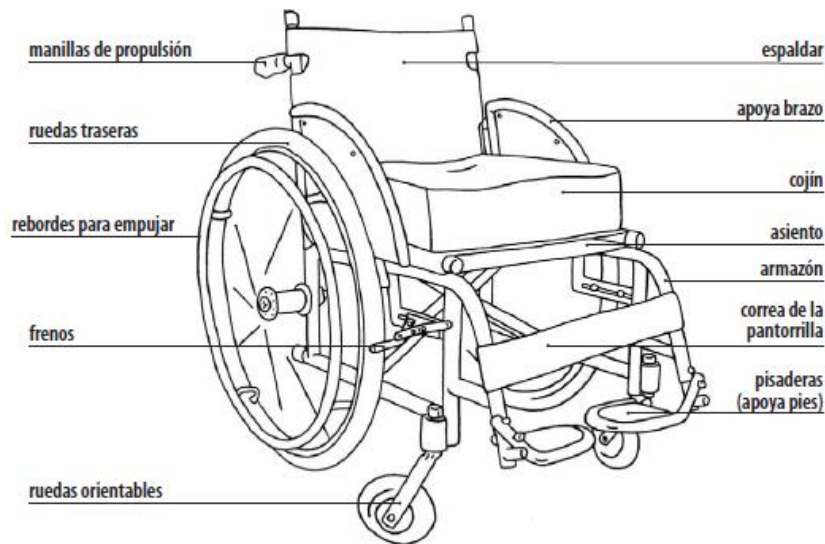


Figura 2.2. Partes de una silla de ruedas para usuario permanente [4].

Los usuarios de las sillas de ruedas de control postural suelen tener movilidad reducida y un alto grado de dependencia, por lo cual cuentan con accesorios extras además de los señalados en la figura anterior [21].

Los accesorios extra se muestran en la figura 2.3 y se mencionan a continuación:

- Sujeciones de silla: pueden ser cinturones pélvicos, abdominales y torácicos, que sirven para mantener seguro al usuario en la silla.
- Apoyos costales: que se emplean para evitar la caída del tronco del usuario hacia los lados.
- Reposacabezas: el cual se emplea en usuarios que no tiene control cefálico.
- Cojín abductor: que ayuda a posicionar al paciente.

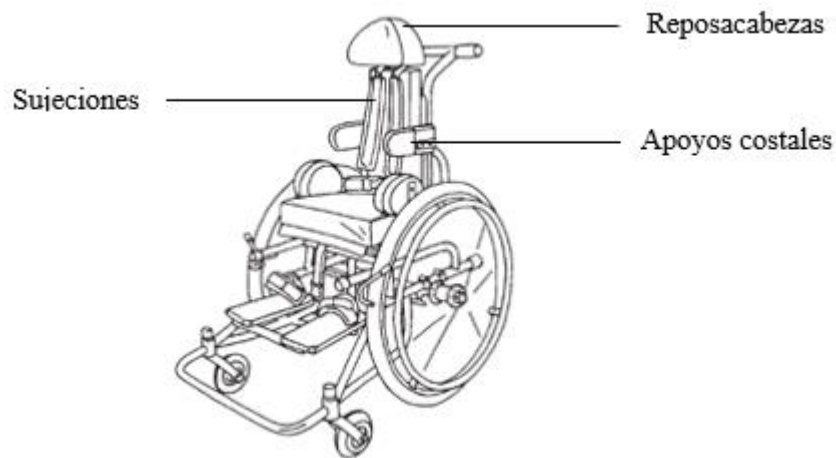


Figura 2.3. Partes de una silla de ruedas para apoyo postural [4].

### 2.3.3 Consideraciones de la OMS para diseñar y suministrar sillas de ruedas

El objetivo del diseño es lograr una silla de ruedas que se desempeñe adecuadamente y que proporcione apoyo postural sin dejar de lado la resistencia, durabilidad y seguridad, para lograrlo se deben de considerar las normas internacionales de la Organización Internacional de Normalización ISO 7176, la cual será explicada posteriormente [4].

Al diseñar una silla de ruedas se deben de considerar los siguientes aspectos:

- Desempeño funcional: el funcionamiento de la silla de ruedas en diferentes entornos depende de su diseño y sus características.
- Estabilidad: la cual afecta el grado de seguridad y la maniobrabilidad de la silla de ruedas.
  - Estabilidad estática se refiere a la estabilidad de la silla de ruedas cuando no está en movimiento y determina si la silla se volcará o no cuando el usuario se incline.
  - Estabilidad dinámica se refiere a la estabilidad de la silla estando en movimiento, en otras palabras, es la capacidad de la silla de ruedas para pasar sobre topes o superficies inclinadas
- Transporte de la silla de ruedas: se deben de tomar en cuenta las dimensiones, materiales y peso de la silla de ruedas.
- Confiabilidad: que depende de la duración del tiempo de vida útil de la silla de ruedas.
- Asientos y elementos de apoyo postural: es importante contar con estas características para evitar que el usuario pueda presentar deformaciones secundarias.
- Entender las necesidades de cada usuario: las necesidades pueden ser, físicas, necesidades posturales; ambientales, dónde vive el usuario y dónde necesita usar la silla de ruedas y; estilo de vida, se refiere a lo que los usuarios necesitan hacer con la silla de ruedas.

Según el documento “Pautas para el suministro de sillas de ruedas manuales en entornos de menores recursos” se deben de cumplir con los siguientes 8 pasos para poder entregar una silla de ruedas [4]:

1. Realizar una primera cita.
2. Estudio personal para cada usuario, que tome en cuenta sus necesidades.
3. Prescripción que señale los detalles de la silla ruedas, dimensiones, características y modificaciones.
4. Financiamiento y pedido.
5. Preparación del producto.
6. Prueba de ajuste, en la cual el usuario prueba la silla de ruedas y se hacen los ajustes necesarios.
7. Capacitación del usuario o cliente.
8. Seguimiento, mantenimiento y reparaciones.

### **2.4 Estándares**

Al momento de crear algún diseño es importante que se tomen en cuentas las normas nacionales como internacionales, ya que esto nos puede asegurar que los productos o servicios que se ofrecen alcancen la calidad deseada [22].

Las normas de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO por sus siglas en inglés) que están relacionadas con sillas de ruedas manuales y que fueron seleccionadas con base en las utilizadas por el SESIR, que es un servicio de evaluación de sillas de ruedas que fue creado por el Instituto de Biomecánica de Valencia, el Hospital Nacional de Paraplégicos de Toledo y la Fundación del Hospital Nacional de Paraplégicos para la Investigación y la Integración [23] [24].

1. ISO 7176-1 Sillas de ruedas: especifica los métodos de prueba para determina la estabilidad estática de las sillas de ruedas. Determina los ángulos de vuelco en diferentes orientaciones.
2. ISO 7176-3 Sillas de ruedas: especifica los métodos de prueba para la medición de la efectividad de los frenos, con una velocidad máximo no excedida de 15 km/h.



3. ISO 7176-5 Sillas de ruedas: determinación de las dimensiones generales y masa.
4. ISO 7176-7 Sillas de ruedas: se realizan mediciones del asiento y las dimensiones de las ruedas, se determina el grado de adaptación de la silla al usuario.
5. ISO 7176-8 Sillas de ruedas: especifica los requerimientos y los métodos de prueba para los esfuerzos estáticos, de impacto y fatiga. Se determina la resistencia a cargas de compresión e impactos en puntos críticos producidos con péndulos normalizados.
6. ISO 7176-11 Sillas de ruedas: especifica que se pueden crear muñecos de prueba (maniqués) que tengan una masa igual o superior a 25 kg.
7. 7176-13 Silla de ruedas: especifica el coeficiente de fricción de las superficies de prueba con textura rugosa.
8. ISO 7176-16 Sillas de ruedas: especifica los requisitos y los métodos de prueba para evaluar la resistencia al incendio de los dispositivos de apoyo postural que se suministran para formar parte de la silla de ruedas.
9. ISO 7176-22 Silla de ruedas: se refiere a la preparación de la silla de ruedas y los maniqués correspondientes para la realización de las pruebas.
10. ISO 13570-1 Sillas de ruedas: nos brinda una guía para la aplicación de la serie ISO 7176 y también explica cómo utilizar y escoger una silla de ruedas.
11. ISO 7176-2 Sillas de ruedas: enumerar los valores típicos y los límites recomendados de las dimensiones útiles para estimar la usabilidad de la silla de ruedas, así como la masa de la silla de ruedas.
12. ISO 18640-1 Asiento para silla de ruedas: aplica a los asientos destinados a proporcionar apoyo postural dentro de una silla de ruedas. Especifica un sistema de coordenadas que determina la postura de una persona mientras está sentada en la silla de ruedas, los términos y definiciones para describir la postura, antropometría de la persona sentada en la silla de ruedas y los términos para describir las dimensiones, ubicación y orientación de las superficies de soporte de asiento.

13. ISO 16840-2 Asiento para silla de ruedas: esta norma determina los aparatos, métodos de prueba de los cojines para asiento, destinados a mantener la integridad del tejido y evitar el daño del mismo.
14. ISO 16840-3 Asiento para silla de ruedas: especifica los métodos de prueba para la determinación de fuerzas de carga estática, de impacto y repetitivas para el soporte postural.

## **2.5 Estudio Antropométrico**

La Organización Mundial de la Salud define a la antropometría como una técnica incruenta (no invasiva), poco costosa y aplicable en todo el mundo, que sirve para evaluar el tamaño, las proporciones y la composición del cuerpo humano [25].

Los estudios antropométricos y los datos que se obtiene de ellos son de gran ayuda, ya que proveen información valiosa a los diseñadores e ingenieros para el diseño correcto de productos y espacios, considerando la estructura y función del cuerpo humano [26].

Utilizando principios de diseño antropométrico es posible encontrar comodidad física en el diseño del producto para una gran variedad de personas. Es importante mencionar que si no se consideran los requisitos físicos de las personas se puede generar una mala postura, lo cual puede generar lesiones [27].

En la figura 2.4 se muestra las medidas antropométricas que se deben de tomar a las personas en posición de sentado. Estas medidas se deben de considerar al diseñar una silla de ruedas.

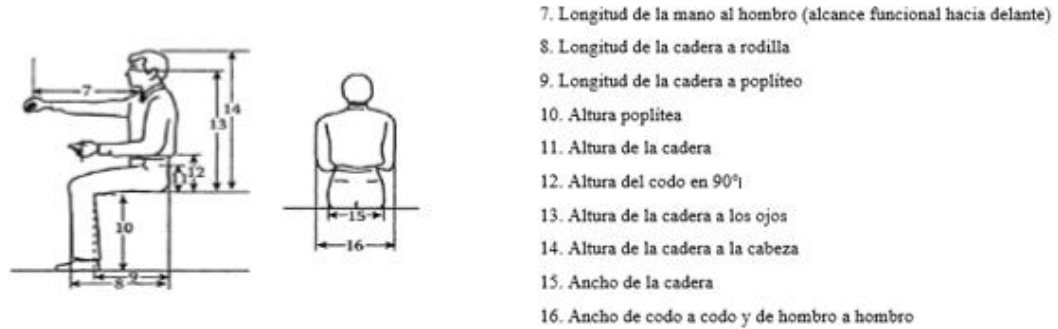


Figura 2.4. Medidas antropométricas [27].

## 2.6 Diseño en ingeniería mecánica

Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema en, si dicho plan funciona, entonces el producto a diseñar debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse [28].

Antes de iniciar con el proceso de diseño, se debe de identificar una necesidad. Una vez que ya se cuenta con el reconocimiento de la necesidad, se debe de proseguir con la identificación de las especificaciones, lo cual incluye, los requisitos del cliente, funciones del dispositivo, requisitos de diseño y los criterios de evaluación. Después de haber determinado las especificaciones para el diseño, se debe de proponer varios conceptos de diseño que sean novedosos y que cumplan con los requisitos determinados. Cada una de estas alternativas de diseño son evaluadas y validadas para seleccionar el concepto óptimo. Como la última parte del proceso de diseño se encuentra el trabajar en el diseño detallado del concepto elegido. En la figura 2.5 se observa el diagrama del proceso de diseño [29].

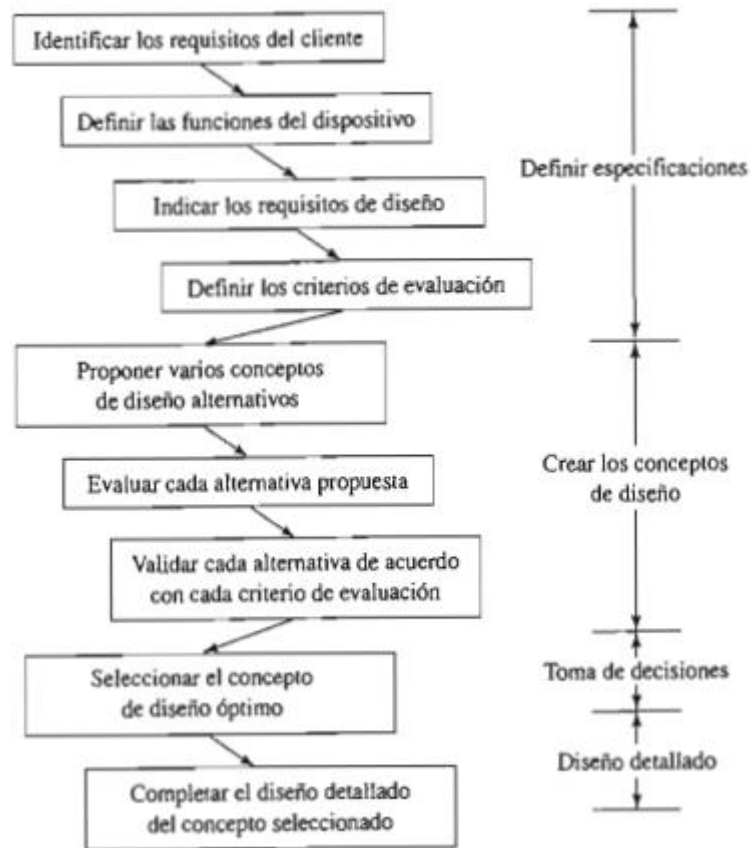


Figura 2.5 Pasos en el proceso de diseño [29].

El diseño mecánico es el proceso de diseñar y elegir componentes mecánicas y armarlos con la finalidad de que cumplan una función de manera segura, eficiente y práctica. Al inicio del proceso de diseño es importante definir claramente las funciones y especificaciones de diseño para el dispositivo completo. Para poder realizar un diseño mecánico se debe de tener conocimiento de: dibujo técnico y diseño asistido por computadora, propiedades de los materiales, procesos de fabricación o manufactura, estática, dinámica y resistencia a los materiales, cinética y mecanismos [30].

### 2.6.1 Conceptos básicos en la resistencia de materiales

Para poder comprender la resistencia y propiedades de los materiales es importante estar familiarizados con los siguientes conceptos [30].

1. Esfuerzo: es la resistencia interna que ofrece un área unitaria del material para una carga externa aplicada. Existen 2 tipos de esfuerzos:

- Esfuerzo normal directo ( $\sigma$ ) que actúa perpendicular a la sección transversal del miembro de carga, y que puede ser de compresión o de tensión.

$$\sigma = F/A \quad (2.1)$$

Dónde:  $F$  es fuerza

$A$  es área

- Esfuerzo cortante ( $\tau$ ) que actúa de manera paralela a las superficies del cubo infinitesimal del material.

$$\tau = F/As \quad (2.2)$$

Dónde:  $As$  es área cortante

2. Deformación o deformación unitaria ( $\varepsilon$ ): se presenta en un miembro de carga a causa de la influencia de la carga aplicada.

$$\varepsilon = \frac{\text{deformación total}}{\text{longitud original}} \quad (2.3)$$

3. Coeficiente de Poisson ( $\nu$ ): un elemento de esfuerzo puede sufrir un alargamiento (deformación axial) y contracción (deformación lateral) simultánea debido a la fuerza de tensión aplicada. El coeficiente de Poisson muestra la relación que existe entre la deformación lateral y la deformación axial.

$$\varepsilon_a = \frac{l_f - l_o}{l_o} \quad (2.4)$$

$$\varepsilon_L = \frac{h_o - h_f}{h_o} \quad (2.5)$$

$$\nu = \frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_a} \quad (2.6)$$

Dónde:  $l_f$  es la longitud final       $h_f$  es la altura final

$l_o$  es la longitud inicial       $h_o$  es la altura inicial

4. Módulo de elasticidad ( $E$ ): mide la rigidez del material y es la relación que hay entre el esfuerzo y la deformación de un material.

$$E = \sigma / \varepsilon \quad (2.7)$$

### 2.6.2 Propiedades de los materiales

Para poder elegir los materiales durante el diseño, es importante tomar en cuenta las propiedades de estos, debido a que el desempeño satisfactorio del diseño depende en gran medida de los materiales que se eligen. En la figura 2.5 se muestra la gráfica típica de tensión para el acero, la cual se obtiene a partir de una prueba de tracción que consiste en sostener de los extremos una barra del material y jalarla hasta que ésta se fractura. A continuación, se describen algunas propiedades en cuanto a resistencia, elasticidad y ductilidad que se presentan en la curva de esfuerzo-deformación de los materiales, en este caso del acero [30].

La resistencia a la tensión ( $S_u$ ), es el punto máximo de la curva de esfuerzo-deformación, y mide el máximo esfuerzo en la barra del material.

La resistencia de fluencia ( $S_y$ ), se presenta en la gráfica como punto de fluencia e indica que el material ha sufrido una deformación o que ha dado de sí plásticamente.

El límite de proporcionalidad nos indica el punto en el cual el esfuerzo ya no es proporcional a la deformación unitaria.

El límite elástico se encuentra muy cerca al límite de proporcionalidad, y determina el punto en el cual el material ya no podrá recobrar su forma original una vez que se libere la carga.

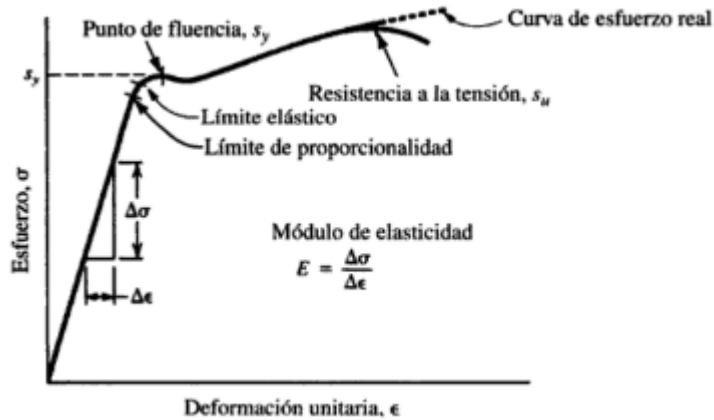


Figura 2.6 Diagrama esfuerzo-deformación para el acero [30].

### 2.6.3 Teoría de falla: Energía máxima de distorsión

Para poder diseñar un mecanismo óptimo se deben de comprender las diversas fallas de los componentes involucrado bajo las posibles cargas que se le puedan llegar a aplicar. En la tabla 2.4 se enlistan tres de los métodos de predicción de falla y bajo qué circunstancias se debe de aplicar cada uno [30].

Tabla 2.4 Métodos de predicción de falla [30].

Método de predicción de falla	Empleos
1. Esfuerzo normal máximo	Esfuerzo estático uniaxial en materiales frágiles
2. Esfuerzo cortante máximo	Esfuerzo estático biaxial en materiales dúctiles
3. Energía de distorsión	Esfuerzo biaxial o triaxial en materiales dúctiles

Para poder seleccionar el método más adecuado se debe de considerar factores como la carga, ya sea estática repetida e invertida o fluctuante, y si es de un material frágil o dúctil. Los métodos mencionados anteriormente definen la relación entre los esfuerzos aplicados a un componente y la resistencia del material con que se va a fabricar. El objetivo del todo el proceso de diseño es obtener un factor de diseño adecuado que garantice la seguridad del componente [30].

Para este caso en particular, el método más adecuado para las condiciones del proyecto es el Método de la energía de distorsión. Se ha demostrado que este método es el mejor para materiales dúctiles sometidos a cargas estáticas o para esfuerzos normales, cortantes o combinados [30].

La teoría de la energía de distorsión se originó a partir de la observación de que los materiales dúctiles sometidos a esfuerzos hidrostáticos presentan valores mayores de resistencia a la fluencia a los valores obtenidos en el ensayo de tensión simple. De esta manera se postuló que la fluencia no es un fenómeno de tensión o compresión simple, sino más bien, que está relacionada con la distorsión angular del elemento esforzado. Esta teoría predice que la falla por fluencia ocurre cuando la energía de deformación total por unidad de volumen alcanza o excede la energía de deformación por unidad de volumen correspondiente a la resistencia a la fluencia en tensión o compresión del mismo material [28].

En la figura 2.7 a) se observa un cubo sometido a un esfuerzo tridimensional, mientras que el cubo del inciso b) está sometido a tensión hidrostática debido a los esfuerzos  $\sigma_{prom}$  elemento sólo experimenta un cambio de volumen. La fórmula para obtener  $\sigma_{prom}$  es:

$$\sigma_{prom} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (2.8)$$

Al momento de restar  $\sigma_{prom}$  a los esfuerzos triaxiales, el cubo se ve sometido sólo a una distorsión angular sin cambio de volumen, como se muestra en el inciso c).



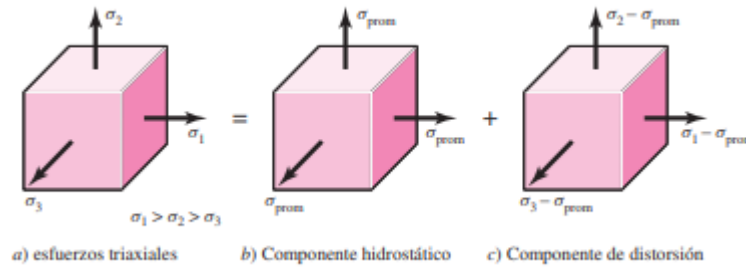


Figura 2.7 a) Elemento con esfuerzos triaxiales, experimenta cambios de volumen y distorsión angular. b) Elemento sometido a tensión hidrostática que sólo experimenta cambio de volumen. c) Elemento con distorsión angular sin cambio de volumen [28].

Para lograr el análisis de la teoría de falla de la energía de distorsión se necesita conocer el valor del esfuerzo efectivo de Von Mises ( $\sigma'$ ), el cual se calcula para esfuerzos biaxiales a partir de los esfuerzos principales, también conocidos como esfuerzos máximos y mínimos ( $\sigma_1$  y  $\sigma_2$ ).

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 - (\sigma_1\sigma_2) + \sigma_2^2} \quad (2.9)$$

Donde  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  son los esfuerzos principales diferentes a cero y se predice que existe falla cuando  $\sigma' > s_y$ .

La teoría de distorsión nos dice que el factor de seguridad ( $N$ ) se debe de calcular de la siguiente manera:

$$N = \frac{s_y}{\sigma'} \quad (2.10)$$

En la figura 2.8 se observa que la línea de falla para el método de energía de distorsión es una elipse centrada en el origen y que pasa por la resistencia de fluencia en cada eje, tanto de la región de compresión como de tensión. Las combinaciones de esfuerzos principales que están dentro de la elipse se consideran seguras, mientras que las que están afuera podrían causar fallas [30].

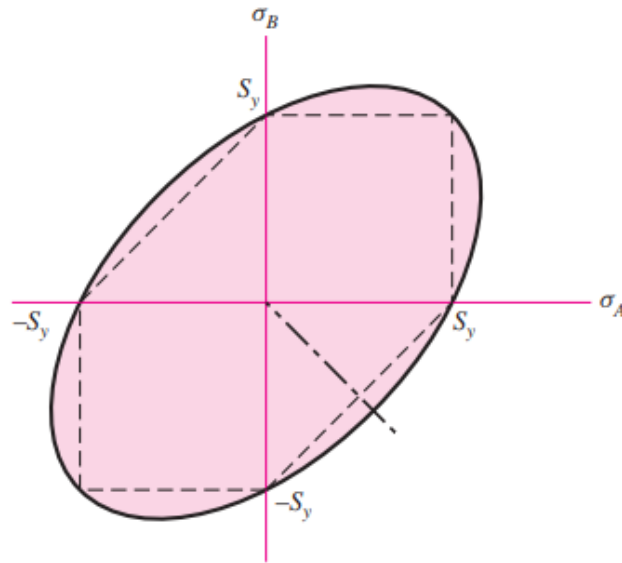


Figura 2.8 Gráfica de la teoría de energía máxima de distorsión [28].

La figura 2.8 hace una comparación entre la gráfica de la teoría de energía de distorsión y la teoría del esfuerzo cortante máximo, la cual se representa a través de una línea punteada. En la figura se puede observar que esta última teoría es más restrictiva y más conservadora [28].

#### 2.6.4 Análisis de elemento finitos

Dentro del proceso de diseño mecánico, tras definir las especificaciones y determinar el diseño inicial, se debe de analizar el comportamiento del sistema mecánico y es preciso decidir cuál procedimiento de análisis se va a emplear. Los procedimientos de análisis mecánico pueden clasificarse como procedimientos tradicionales, numéricos y experimentales [31].

Los procedimientos tradicionales son aquellos que utilizan expresiones simplificadas de las teorías clásicas, de tal manera que el análisis del sistema puede realizarse de forma sencilla y su precisión no es muy elevada. Los procedimientos

experimentales, consisten en la fabricación de prototipos lo que hace que proporcione resultados más precisos, pero con un costo más elevado. Por último, los procedimientos numéricos se implementan usando un software de ingeniería asistida por computadora (CAE por sus siglas en inglés) que permiten realizar análisis que los procedimientos tradicionales no pueden abordar. Uno de los métodos numéricos de análisis más utilizado es el Método de elementos finito (FEM por sus siglas en inglés) [31].

Para el análisis de elemento finito existe una gran número de aplicaciones tales como análisis estático y dinámico, lineal y no lineal, de esfuerzo y de deflexión, vibraciones libres y forzadas, transferencia de calor, pandeo, acústica, electrostática y magnetismo y dinámica de fluidos [28].

El análisis de elemento finito está constituido por 3 etapas: preprocesamiento, procesamiento y posprocesamiento. El preprocesamiento implica la preparación de datos, subdividir el elemento en nodos y las coordenadas de cada nodo, las condiciones de frontera, conectividad, información sobre cargas y material. La etapa de procesamiento implica la solución de un conjunto de ecuaciones para obtener resultados globales. La etapa de posprocesamiento se trata de la presentación de los resultados, en esta etapa se calculan y muestran la configuración deformada, las formas nodales, la temperatura y la distribución de esfuerzos [32].

Para describir el proceso de solución del elemento finito se empleará el ejemplo unidimensional de una barra con una carga y un área transversal constante ( $A$ ), con longitud ( $l$ ) y módulo elástico ( $E$ ). La barra es un elemento puntal de dos nodos, y como es un unidimensional, cada nodo sólo tendrá un grado de libertad. Un elemento puntal se asemeja a un resorte lineal, con un índice de elasticidad ( $k$ ), dado por la ecuación (2.11) [28].

$$k = \frac{AE}{l} \quad (2.11)$$

En la imagen 2.9 se muestra el esquema de un resorte simple (e) con índice de elasticidad ( $k_e$ ), con nodos  $i$  y  $j$ , y el desplazamiento de los nodos identificados a través de  $u_i$  y  $u_j$ .

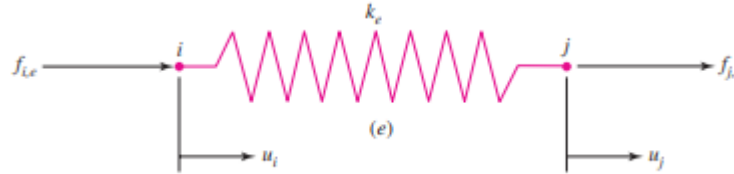


Figura 2.9 Elemento de resorte simple [28].

Las fuerzas ( $f_{i,e}$ ) en cada uno de los nodos que se ilustra en la figura 2.9, se pueden escribir como:

$$f_{i,e} = k_e(u_i - u_j) = k_e u_i - k_e u_j$$

$$f_{j,e} = k_e(u_j - u_i) = -k_e u_i + k_e u_j \quad (2.12)$$

Las ecuaciones anteriores pueden expresarse en forma matricial como:

$$\begin{Bmatrix} f_{i,e} \\ f_{j,e} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_e & -k_e \\ -k_e & k_e \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ u_j \end{Bmatrix} \quad (2.13)$$

Continuando con el problema descriptivo, el modelo del sistema de la barra se muestra en el inciso de a) de la figura 2.10. En esta imagen se han numerado los elementos y nodos y se han etiquetado las fuerzas externas totales ( $F_1$ ,  $F_2$  y  $F_3$ ) en cada nodo. Para poder observar las fuerzas internas de cada elemento se dibuja el diagrama de cuerpo libre como se enseña en el inciso b) de figura 2.10.

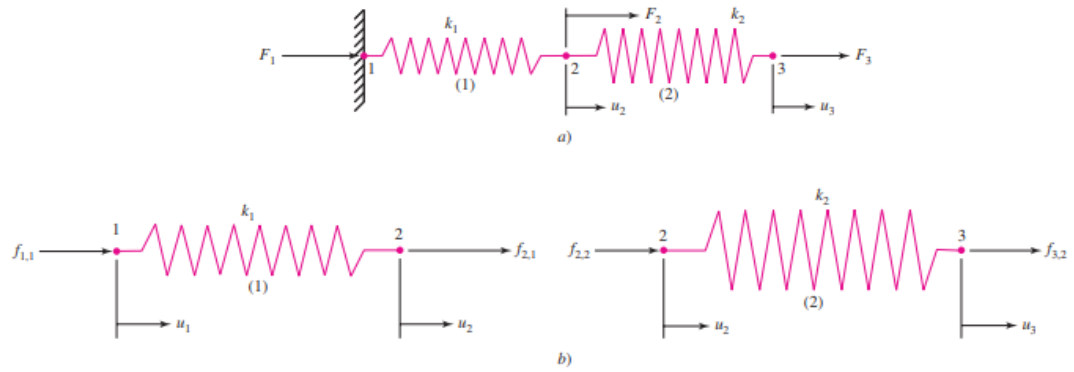


Figura 2.10 a) Modelo del sistema; b) diagramas de cuerpo libre [28].

Utilizando la ecuación (2.13) del resorte simple, para cada resorte de la figura 2.10 se obtiene la matriz de rigidez elemental para cada elemento.

Para el elemento 1 
$$\begin{Bmatrix} f_{1,1} \\ f_{2,1} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 \\ -k_1 & k_1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_1 \end{Bmatrix} \quad (2.14)$$

Para el elemento 2 
$$\begin{Bmatrix} f_{2,2} \\ f_{3,2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} \quad (2.15)$$

La fuerza total en cada nodo es la fuerza externa,  $F_1 = f_{1,1}$ ,  $F_2 = f_{2,1} + f_{2,2}$  y  $F_3 = f_{3,2}$ . Combinando las matrices en términos de las fuerzas externas se obtiene la matriz de rigidez global.

$$\begin{Bmatrix} f_{1,1} \\ f_{2,1} + f_{2,2} \\ f_{3,2} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & (k_1 + k_2) & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} \quad (2.16)$$

Una vez que se llega a este punto, sólo queda aplicar las condiciones de contorno y resolver las ecuaciones.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1 Proceso de diseño de la silla de ruedas

El término diseñar se refiere a formular y llevar a cabo un plan para satisfacer una necesidad o resolver un problema definido. En la figura 3.1 se muestran los 6 pasos a seguir para el diseño y producción de sillas de ruedas descritos por la Organización Mundial de la Salud [4] [29].

1. Instrucciones de diseño: el proceso de diseño inicia con la identificación de una necesidad y la definición del problema. En este paso inicial se deben de establecer los criterios para la silla de ruedas: limitaciones ambientales, recursos de producción locales, requisitos de desempeño y precio indicativo.
2. Diseñar/escoger silla de ruedas: se deben de elaborar ideas para el diseño y se construyen prototipos que se prueban para asegurarse de que cumplan con los requisitos de desempeño.
3. Probar el producto: cuando se satisface los requisitos de desempeño, se debe de probar el prototipo para que satisfaga los requisitos de resistencia y durabilidad.
4. Ensayos con usuarios: estos ensayos permiten recibir retroalimentación.
5. Producción y suministro: se pueden llevar a cabo después de que la silla de ruedas ha sido probada en usuarios.
6. Seguimiento de largo plazo: se debe de evaluar el desempeño de la silla de ruedas durante varios meses y la retroalimentación que se obtenga debe de ser usada para mejorar el modelo.

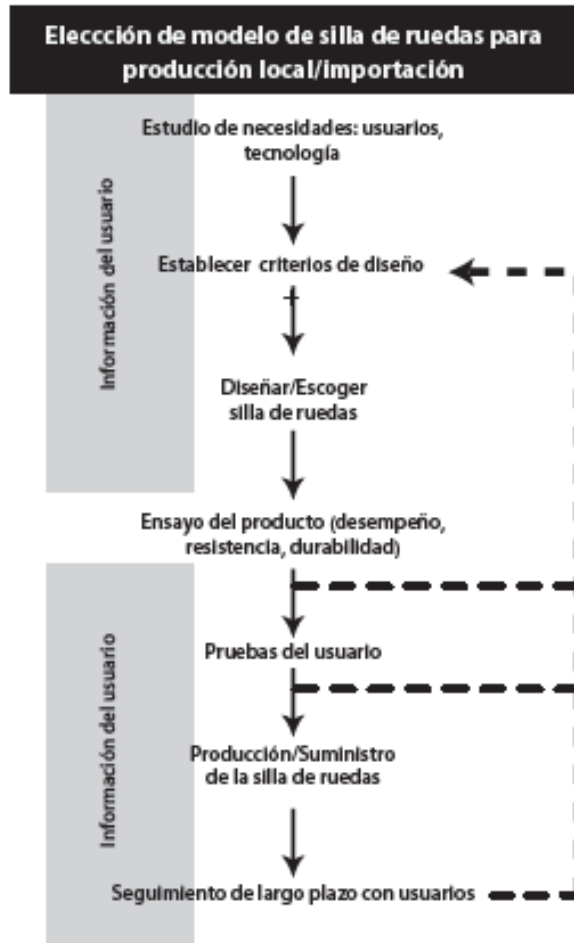


Figura 3.1 Proceso de diseño para una silla de ruedas [4].

Para lograr un mejor entendimiento de las necesidades de los usuarios de sillas de ruedas, es necesario hacer que estos participen en el proceso de diseño ya que ellos son los que mejor conocen las necesidades físicas, sociales y del entorno que los rodea. Una forma de recopilar información es a través de encuestas. Para esta etapa de diseño se va a tomar la información recabada en el proyecto titulado “Diseño de una silla de ruedas para pacientes con Discapacidad Motriz Severa dentro del Sistema de Clasificación de la Función Motriz Gruesa Nivel 4 y 5” [33].

En dicho proyecto se aplicó un total de 45 encuestas a los padres de familia o tutores de pacientes con discapacidad motriz severa y que necesitan de una silla de ruedas en la Ciudades de Chihuahua y Juárez, de los cuales 33 pacientes presentaron un diagnóstico de parálisis cerebral.

### III. METODOLOGÍA

El cuestionario aplicado consta de 8 secciones (Anexo A) y tiene como finalidad obtener información del paciente sobre su patología, si cuenta con una silla de ruedas, y si esta cubre con sus necesidades, sobre sus actividades diarias e ingresos económicos.

Los resultados obtenidos de las encuestas aplicadas y que conciernen a este proyecto se presentan a continuación:

- Sobre el diagnóstico de los encuestados se presentaron varias patologías, de las cuales la más común fue la parálisis cerebral con 33 pacientes, seguida por la microcefalia con 4. En esta pregunta varios pacientes presentaron más de un diagnóstico como se muestra en la figura 3.2.

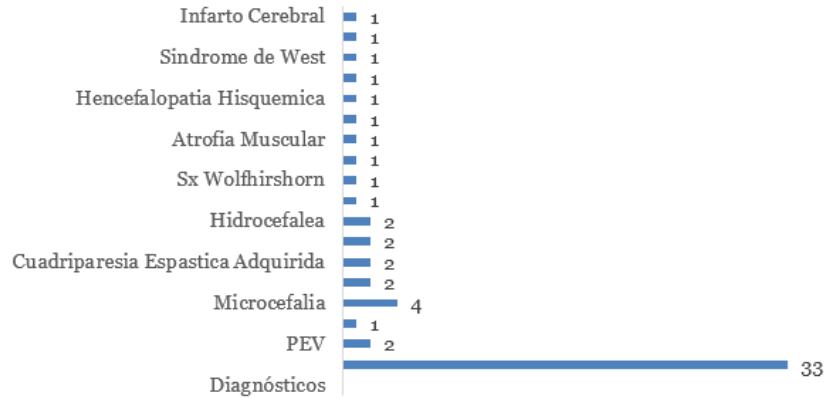


Figura 3.2 Diagnóstico en pacientes encuestados [33].

- La figura 3.3 muestra la distribución de los tipos de parálisis cerebral según la topografía corporal en los pacientes encuestados. La encuesta arrojó que la paraplejía es el tipo más común de parálisis cerebral con 10 personas, a ésta le sigue le sigue la triplejía con 6 personas.

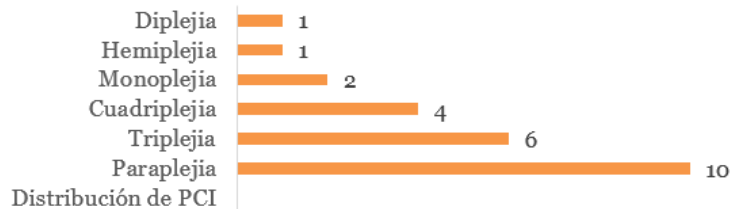


Figura 3.3 Distribución de los tipos de parálisis cerebral en pacientes encuestados [33].



- Como se muestra en la figura 3.4 de los pacientes encuestados 20 mencionaron presentar escoliosis. En 18 pacientes la escoliosis se debe a la mala postura que han adquirido.

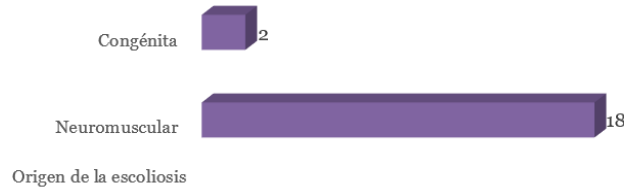


Figura 3.4 Causa de la escoliosis en pacientes encuestados [33].

- Con respecto a las sillas de ruedas, de los 45 encuestados, sólo 7 no contaban con una silla de ruedas, aunque la necesitan. A los 38 pacientes que si cuentan con silla de ruedas se les preguntó las razones por las cuales la silla de ruedas con la que cuentan no cubre sus necesidades. En la figura 3.5 se observan los resultados a esta pregunta, las principales razones son, la silla de ruedas no es adecuada con 8 personas, no es del tamaño correcto con 5 y no tiene buen soporte de cuerpo también con 5 personas.

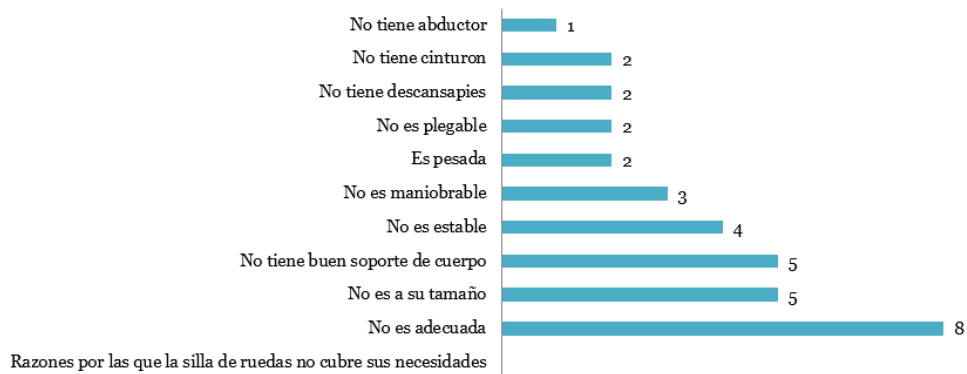


Figura 3.5 Razones por las cuales la silla de ruedas no cumple con las necesidades de los pacientes encuestados [33].

- De igual forma se les preguntó si la silla de ruedas con la que cuentan limita sus actividades cotidianas, a esta pregunta 25 pacientes respondieron que la silla de ruedas si limita sus actividades. En la figura 3.6 se muestran las razones por las cuales se ven limitados, la razón principal es debido a la poca infraestructura diseñada para ellos, la segunda razón está relacionada al

peso de la silla de ruedas y la tercera es debido a que no pueden transportar la silla fácilmente.

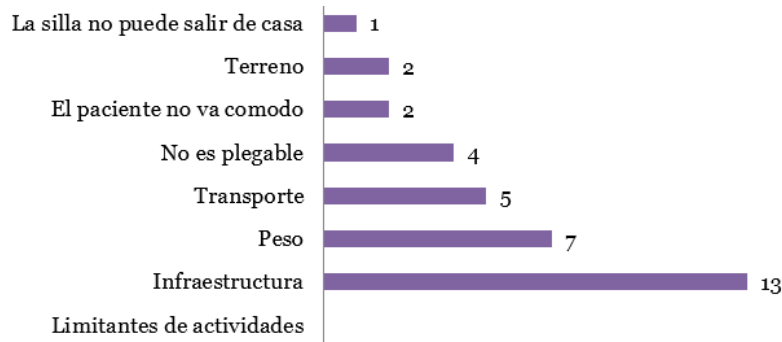


Figura 3.6 Razones por las cuales las actividades cotidianas se ven limitadas en los pacientes encuestados [33].

- En la figura 3.7 se muestra la forma por la cual los encuestados adquirieron la silla de ruedas, las cuales pueden ser por medio de donación, compra o préstamo. La mayoría de los pacientes obtuvieron su silla de ruedas gracias a las donaciones.

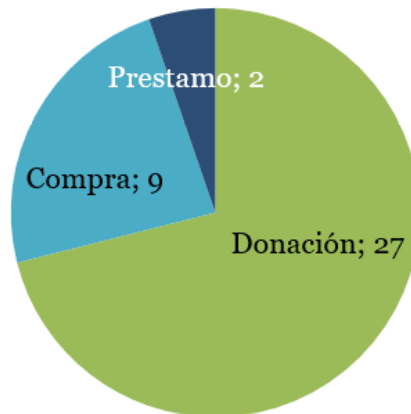


Figura 3.7 Medio de adquisición de la silla de ruedas en los pacientes encuestados [33].

- En la sección de ingresos mensuales de las familias encuestadas que cuentan con un integrante con discapacidad motriz severa, la encuesta arrojó que la mayoría de las familias cuentan con ingreso mensual menor a 10,000 pesos mexicanos y que estarían dispuestos a pagar menos de 10,000 pesos mexicanos por una silla de ruedas como se muestra en las figuras 3.8 y 3.9.

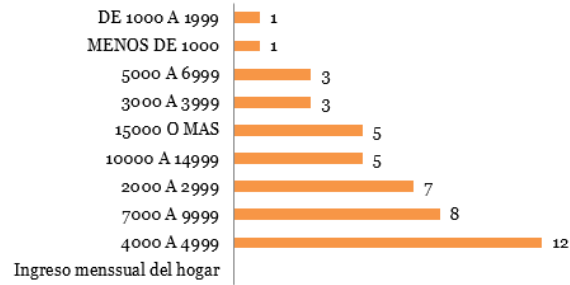


Figura 3.8 Ingresos mensuales de las familias encuestadas [33].

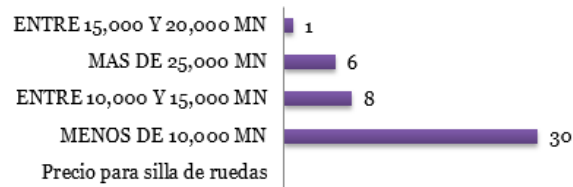


Figura 3.9 Precios dispuestos a pagar por una silla de ruedas según los encuestados [33].

### 3.2 Medidas antropométricas

La antropometría nos ayuda a desarrollar productos que cumplan con las necesidades del mercado al cual nos vamos a dirigir. Para determinar el tamaño de la silla de ruedas a diseñar en este proyecto, se utilizó el formato del Anexo B y se midió a 10 pacientes con parálisis cerebral, cuyas edades van desde los 4 hasta los 22 años. Las variables antropométricas medidas fueron:

- Ancho de hombros
- Ancho de pecho
- Profundidad del pecho
- Ancho de cadera
- Espacio entre las rodillas
- Altura del asiento a la cabeza
- Altura del asiento al occipucio
- Altura del asiento a la parte superior de los hombros
- Altura del asiento al acromio

- Altura del asiento a la escápula
- Altura del asiento al codo en 90°
- Altura del asiento a la cresta iliaca
- Longitud de la parte superior de la pierna
- Longitud de la parte inferior de la pierna
- Longitud del pie

Para la obtención de estos datos antropométricos fue necesario que los usuarios se sentarán lo más erguido posible, ya sea con ayuda de alguien, y con una cinta métrica se midió cada variable necesitada. Las medidas obtenidas se presentan a continuación en la tabla 3.1.

### III. METODOLOGÍA

Tabla 3.1 Medidas antropométricas recabadas en centímetros.

Ancho Hombros	Ancho Pecho	Profundidad pecho	Ancho Cadera	Entre rodillas	Altura del asiento a la cabeza	Altura del asiento al occipucio		Altura del asiento a la parte superior hombros	Altura del asiento al acromio	Altura del asiento al angulo inferior escapula	Altura del asiento al codo (90°)	Altura del asiento a la cresta iliaca	Longitud de la parte superior de la pierna	Longitud de la parte inferior de la pierna	Longitud del pie
19	18	14	16	6	52	41	DERECHO	33	31	25	17	10	20	21	12
							IZQUIERDO	32	31	26	18	11	22	21	12
32	27.5	21	35	8	63	55	DERECHO	42	41	31	6	5	39	48	23
							IZQUIERDO	41	40	31	6.5	5	40	47	23
24	21	14	17	12	49	41	DERECHO	33	30	24	11	10	31	24	12
							IZQUIERDO	35	32	23	10	12	30	24	12
29	25	23	20	10	65	55	DERECHO	46	45	36	13	14	40	41	22
							IZQUIERDO	48	45	38	16	13	40	40	22
20	16	11	14	6	51	42	DERECHO	30	29	25	15	10	21	22	13
							IZQUIERDO	31	30	24	14	9.5	20	22	13
20	19	13	11	16	55	48	DERECHO	37	35	19.5	17	11	18	24	14
							IZQUIERDO	35	32	24	12	11	22	26	14
30	25	20	21	7	68	59	DERECHO	51	48	34	15	13	34	33	22
							IZQUIERDO	50	44	33	11	19	37	36	22
20	20	13	20	5	58	49	DERECHO	38	38	30	18	12	12	23	13
							IZQUIERDO	41	40	27.5	16	12	14	25	13
26	24	19	20	11	58	47	DERECHO	41	38	29	11	9	27	35	16
							IZQUIERDO	41	38	27	12	11	26	37	16
22	19	18	16	8	54	49	DERECHO	40	40	26	11	11	27	31	15
							IZQUIERDO	40	40	27	12	9	27	31	15

Se realizó un análisis estadístico de los datos antropométricos, en el cual se obtuvo la media y la desviación estándar para cada variable antropométrica. De igual forma se obtuvieron los percentiles 5 y 95 para asegurar de que el diseño se ajuste a la mayoría de la población.

Tabla 3.2 Análisis estadístico de los datos antropométricos.

<b>Datos antropométricos en centímetros</b>							
<b>Dimensión</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Valor mínimo</b>	<b>Valor máximo</b>	<b>Percentil 5</b>	<b>Percentil 95</b>	
<b>Edad</b>	11.2	5.7696	4	22	4.9	20.65	
<b>Ancho hombros</b>	24.2	4.7795	19	32	19.45	31.1	
<b>Ancho pecho</b>	21.45	3.7152	16	27.5	16.9	26.375	
<b>Profundidad pecho</b>	16.6	4.0879	13	23	11.9	22.1	
<b>Ancho cadera</b>	19	6.4463	11	35	12.35	28.7	
<b>Entre rodillas</b>	8.9	3.3813	5	16	5.45	14.2	
<b>Altura del asiento a la cabeza</b>	57.3	6.3254	49	68	49.9	66.65	
<b>Altura del asiento al occipucio</b>	48.6	6.2574	41	55	41	57.2	
<b>Altura del asiento a la parte superior hombros</b>	<b>Derecho</b>	39.1	6.3675	30	51	31.35	48.75
	<b>Izquierdo</b>	39.4	6.3104	31	50.48	31.45	48.1
<b>Atura del asiento al acromio</b>	<b>Derecho</b>	37.5	6.3464	29	48	29.45	46.65
	<b>Izquierdo</b>	37.2	5.5337	30	45	30.45	44.55
<b>Altura del asiento a la escápula</b>	<b>Derecho</b>	27.95	4.9913	19.5	36	21..525	35.1
	<b>Izquierdo</b>	28.05	4.6812	23	38	23.45	35.75
<b>Altura del asiento al codo</b>	<b>Derecho</b>	13.4	3.7178	6	18	8.25	17.55
	<b>Izquierdo</b>	12.75	3.3603	6.5	18	8.07	17.1
<b>Altura del asiento a la cresta iliaca</b>	<b>Derecho</b>	10.5	2.4608	5	14	6.8	13.55
	<b>Izquierdo</b>	11.25	3.5217	5	19	6.8	16.3
<b>Longitud de la parte superior pierna</b>	<b>Derecho</b>	26.9	9.2430	12	40	14.7	39.55
	<b>Izquierdo</b>	27.8	8.8794	14	40	16.7	40

<b>Longitud de la parte inferior pierna</b>	<b>Derecho</b>	30.2	9.1018	21	48	21.45	44.85
	<b>Izquierdo</b>	30.9	8.7489	21	47	21.45	43.85
<b>Longitud del pie</b>	<b>Derecho</b>	16.2	4.4171	12	23	12	22.55
	<b>Izquierdo</b>	16.2	4.4171	12	23	12	22.55

Para complementar estos datos se van a considerar los resultados obtenidos en el análisis estadístico de datos antropométricos (Anexo C) del proyecto “Diseño de una Silla de Ruedas para Pacientes con Discapacidad Motriz Severa dentro del Sistema de Clasificación de la Función Motriz Gruesa Nivel 4 y 5” y se tomarán en cuenta ambas bases de datos para la determinación del rango de tamaño adecuado de la silla de ruedas a diseñar. [5]

### 3.3 Comparación entre diversas sillas de ruedas en el mercado actual

Para complementar la información de las secciones anteriores, se realizó una comparación entre sillas de ruedas fabricadas en el extranjero y en México, con el objetivo de conocer las características estructurales con las que cuentan y determinar el rango de tamaños que manejan y las áreas de oportunidad en las que se puede trabajar para mejorar la estructura.

Para la comparación se tomaron 4 sillas de ruedas fabricadas en el extranjero y 2 fabricadas en nuestro país, las variables a comparar fueron el material del que están hechas, peso, peso que soporta, ancho y profundidad del asiento, si es o no plegable, si el respaldo es reclinable, asiento ajustable y precio. En las variables no encontradas se optó por poner una X.

Las sillas de ruedas comparadas son las siguientes:

1. Ts Pediatric de Zippie



2. Freedom NXT Foldin de Freedom Design Inc.



3. Freedom NXT Specialized de Freedom Desing Inc.



4. Voyage de Zippie



5. MS-9906 de Marega Industrias Reyes



6. Estándar SRM PCI de Migo Industrias Metálicas





Tabla 3.3 Comparación entre diversas sillas de ruedas

Numero de silla	Material	Peso	Peso Soporta	Ancho Asiento	Profundidad Asiento	Plegable Sí/No	Asiento Ajustable	Respaldo Reclinable	Precio
1	X	29lbs 13.15kg	165lbs 74.84kg	10"-18" 25.4- 45.72cm	13"-20" 33.02- 50.8cm	Sí	Ancho 2" 5.08cm Profundidad 5" 12.7cm		2700 dóls
2	Acero y Aluminio	21.5 lbs 9.75kg	225lbs 102.05kg	11 tamaños 10"-20" 25.4- 50.8cm	Chico 12"-16" 30.48- 40.64cm Mediano 14"-18" 35.56- 45.72cm Grande 16"-20" 40.64- 50.08cm	Sí	Ancho 2" 5.08cm Profundidad 4" 10.16cm	80°-120°	X
3	Acero y Aluminio	22lbs 9.97kg	225lbs 102.05kg	11 tamaños 10"-20" 25.4- 50.8cm	Chico 12"-16" 30.48- 40.64cm Mediano 14"-18" 35.56- 45.72cm Grande 16"-20" 40.64- 50.08cm	No	Ancho 2" 5.08cm Profundidad 4" 10.16cm	45°	X
4	Aluminio	23lbs 10.43kg	75lbs 34.01kg	6"-13" 15.24- 33.02cm	5"-13" 12.7- 33.02cm	Sí	Sí	35°	2375 dólares
5	Acero	16kg	70kg	15" 38cm	15" 38cm	Sí	No	Sí	5629.48 MXN
6	Acero	X	X	Hechas a la medida	Hechas a la medida	X	X	6 posiciones	9000 MXN

Con la información obtenida a través de la investigación anterior, se pueden determinar los requisitos con los cuales debe de cumplir la silla de ruedas y los criterios de selección de la misma. Los requisitos de diseño deben de incluir todo lo que se necesite y deben de ofrecer oportunidades para la innovación, mientras que los criterios de evaluación deben reflejar las necesidades especiales del proyecto como se muestra en la tabla 3.4 [34].

Tabla 3.4 Requisitos de diseño y criterios de selección.

<b>Requisitos de diseño</b>	<b>Criterios de selección</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Cumpla con el rango de tamaño determinado a través del estudio antropométrico</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Seguridad</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Soporte un peso mínimo de 100 kilogramos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ligera</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Tenga un peso menor o igual a 15 kilogramos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tamaño ajustable</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Se pueda fabricar con materiales fáciles de encontrar en la localidad</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bajo costo de producción</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Tenga un costo menor a 10,000 pesos mexicanos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bajo costo de mantenimiento</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Debe de ser plegable</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Proporcione un correcto soporte postural</li></ul>

## CAPÍTULO IV

### DISEÑO

#### 4.1 Mecanismos principales

Con los requisitos de diseño y las necesidades de los usuarios bien definidos, se prosiguió con la etapa de diseño para generar la geometría estructural en 3D de la silla de ruedas usando el software de diseño asistido por computadora Solidworks.

El objetivo de este diseño es construir un modelo virtual tridimensional de la silla de ruedas para verificar las restricciones y propiedades geométricas de cada mecanismo que conforman la silla de ruedas. En la imagen 4.1 se muestra el diseño de la silla de ruedas completo, el cual consta de 4 mecanismos principales que permiten cumplir con los requisitos de diseño, los cuales se nombran y se detallan a continuación.

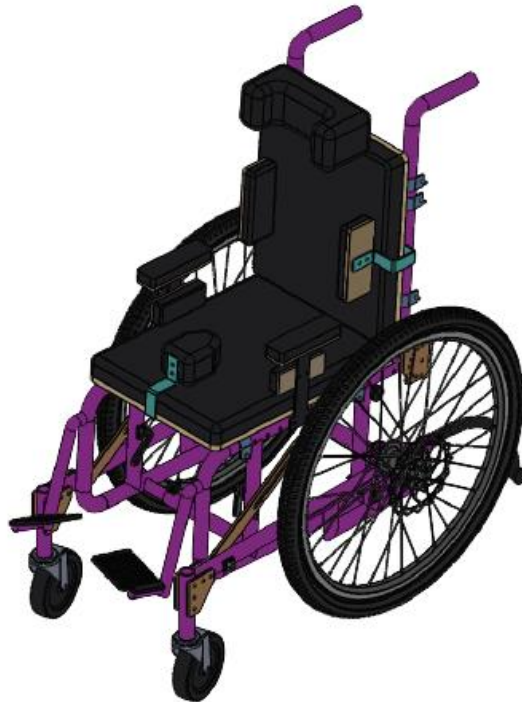


Figura 4.1. Modelo tridimensional de la silla de ruedas.

1. Mecanismo de ajuste telescópico
2. Mecanismo de inclinación del respaldo
3. Tornillos de ajuste
4. Mecanismo de inclinación en el espacio (tilt in space)

#### 4.2 Diseño del asiento y del respaldo

El diseño estructural de la silla de ruedas se basa en un chasis tubular de 1 pulgada de diámetro al igual que la mayoría de las sillas de ruedas en el mercado. En la Figura 4.2 a) y 4.2 b) se muestran el diseño del chasis tubular del asiento y el respaldo respectivamente.

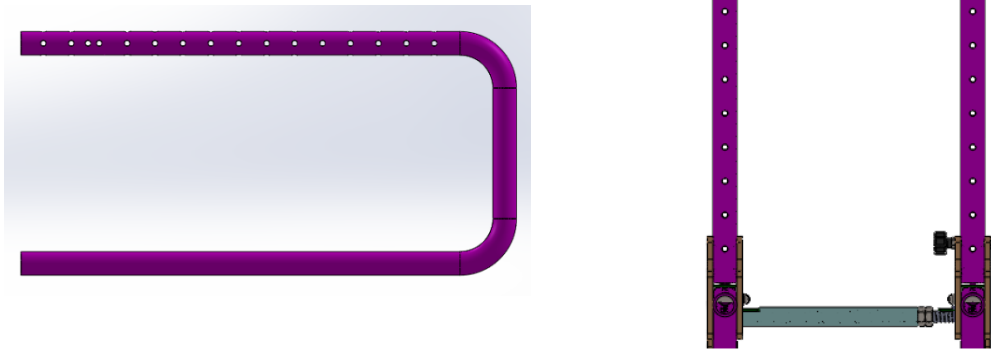


Figura 4.2 a) Chasis tubular del asiento; b) Chasis tubular del respaldo.

### 4.3 Diseño del mecanismo telescópico

A diferencia de los diseños actuales de sillas de ruedas que cuentan con un mecanismo en forma de “X”, este diseño cuenta con 2 mecanismos telescópicos que permiten que la silla de ruedas se pueda plegar y extender para ajustarse al ancho de cadera de cada usuario determinado por los tornillos de ajuste. Dicho mecanismo telescópico se muestra en la figura 4.3.



Figura 4.3 Mecanismo de plegado telescópico

### 4.4 Diseño del tornillo de ajuste

Para personalizar la silla de ruedas al ancho del usuario, se diseñaron 2 tornillos de ajuste, los cuales son capaces de variar su tamaño y fijarse en la longitud deseada. Además de fijar el ancho de la silla de ruedas, este mecanismo es fácil de desmontarse del chasis de la silla de ruedas para que no se tengan que modificar su tamaño cada vez que se quiera plegar la silla para guardarla o transportarla. En la figura 4.4 se observa el tornillo de ajuste del asiento de la silla de ruedas, de igual forma se colocó otro mecanismo de ajuste en el respaldo.



Figura 4.4 Tronillo de ajuste.

#### 4.5 Diseño del mecanismo de inclinación del respaldo

En la figura 4.5 inciso a) y b) se muestra que para lograr que el respaldo se pueda sujetar y ajustar a cualquier ángulo, sin afectar la posición del asiento, se incluyeron unas perillas en forma de mariposa y unas placas las cuales permiten que el respaldo se pueda inclinar  $90^\circ$  hacia delante y  $90^\circ$  hacia atrás.

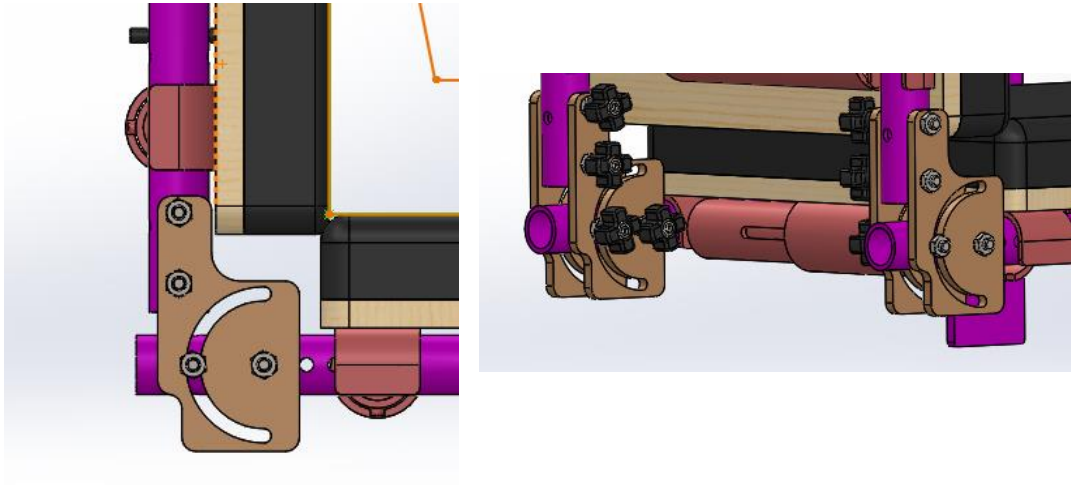


Figura 4.5 Mecanismo de sujeción y ajuste del respaldo vista lateral; b) Mecanismo de sujeción y ajuste del respaldo vista isométrica.

#### **4.6 Diseño del mecanismo de inclinación en el espacio**

Para lograr la inclinación en el espacio del asiento en conjunto con el respaldo, el diseño de la silla de ruedas cuenta con dos placas con corredera que van colocadas una de cada lado del chasis del asiento. La figura 4.6 se muestra el mecanismo de inclinación en el espacio del lado derecho de la silla de ruedas. Dicho mecanismo cuenta con una perilla que se atornilla fácilmente.

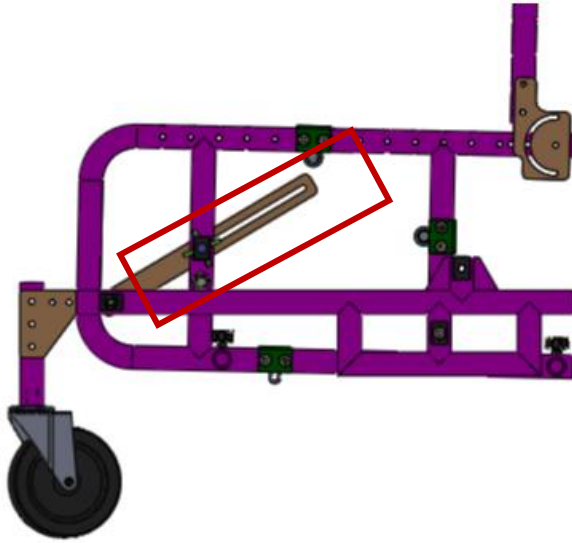


Figura 4.6 Mecanismo de inclinación en el espacio.

#### **4.7 Vista explosionada del diseño de silla de ruedas**

A continuación, en las figuras 4.7, 4.8 y 4.9 se muestra la vista explosionada del ensamble para mayor entendimiento de cada uno de los componentes que conforma el ensamble de la silla de ruedas, cada uno de los componentes se encuentran enumerados para su fácil distinción. Mientras que en la tabla 4.1 se muestra el número de elemento con sus respectivos nombres en el ensamble, una descripción y la cantidad de cada elemento en el ensamblaje final de la silla de ruedas.



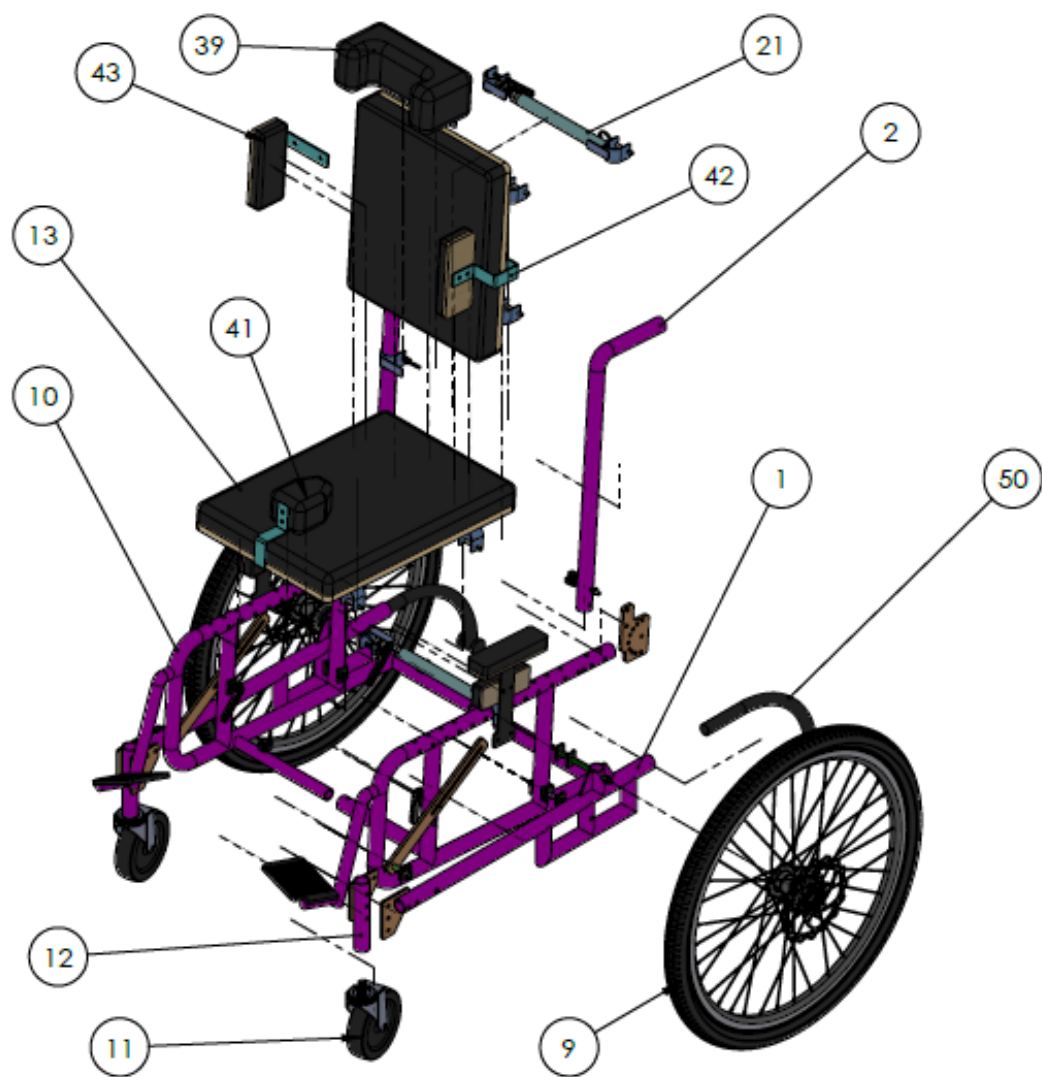


Figura 4.7 Vista explosionada parte1.

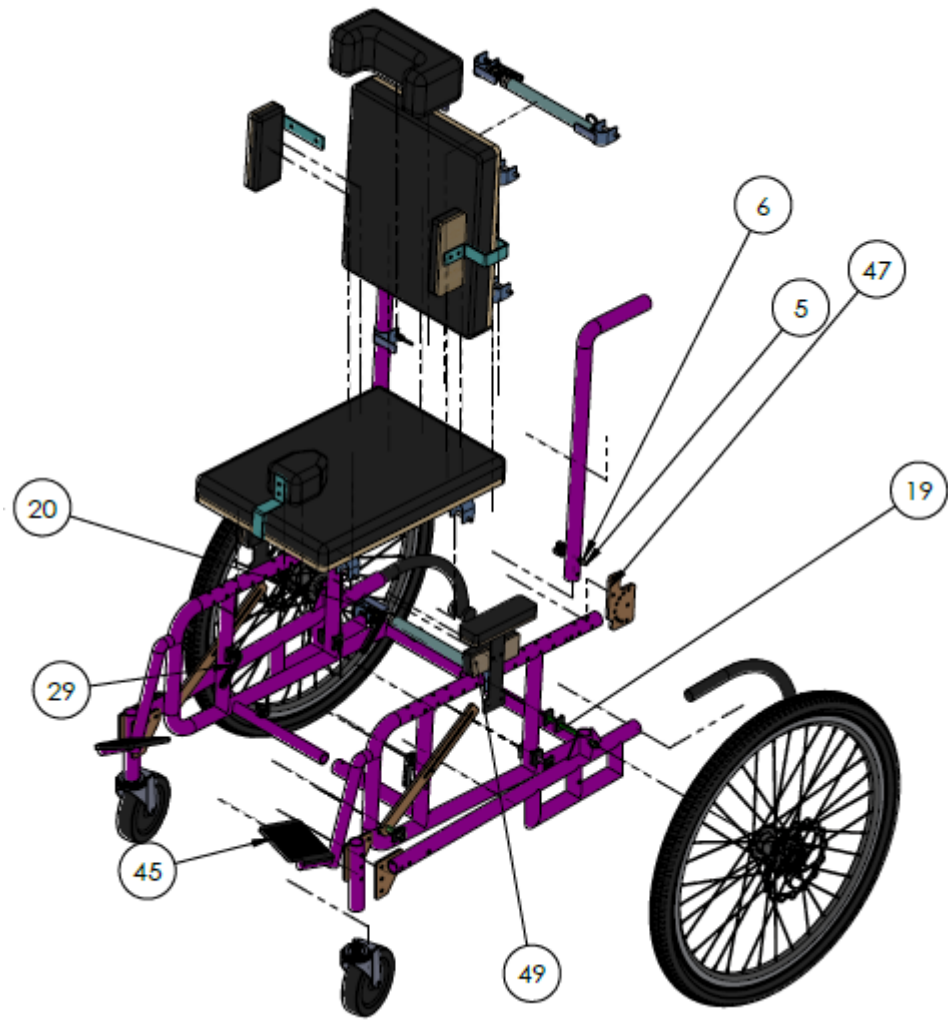


Figura 4.8 Vista explosionada parte 2.

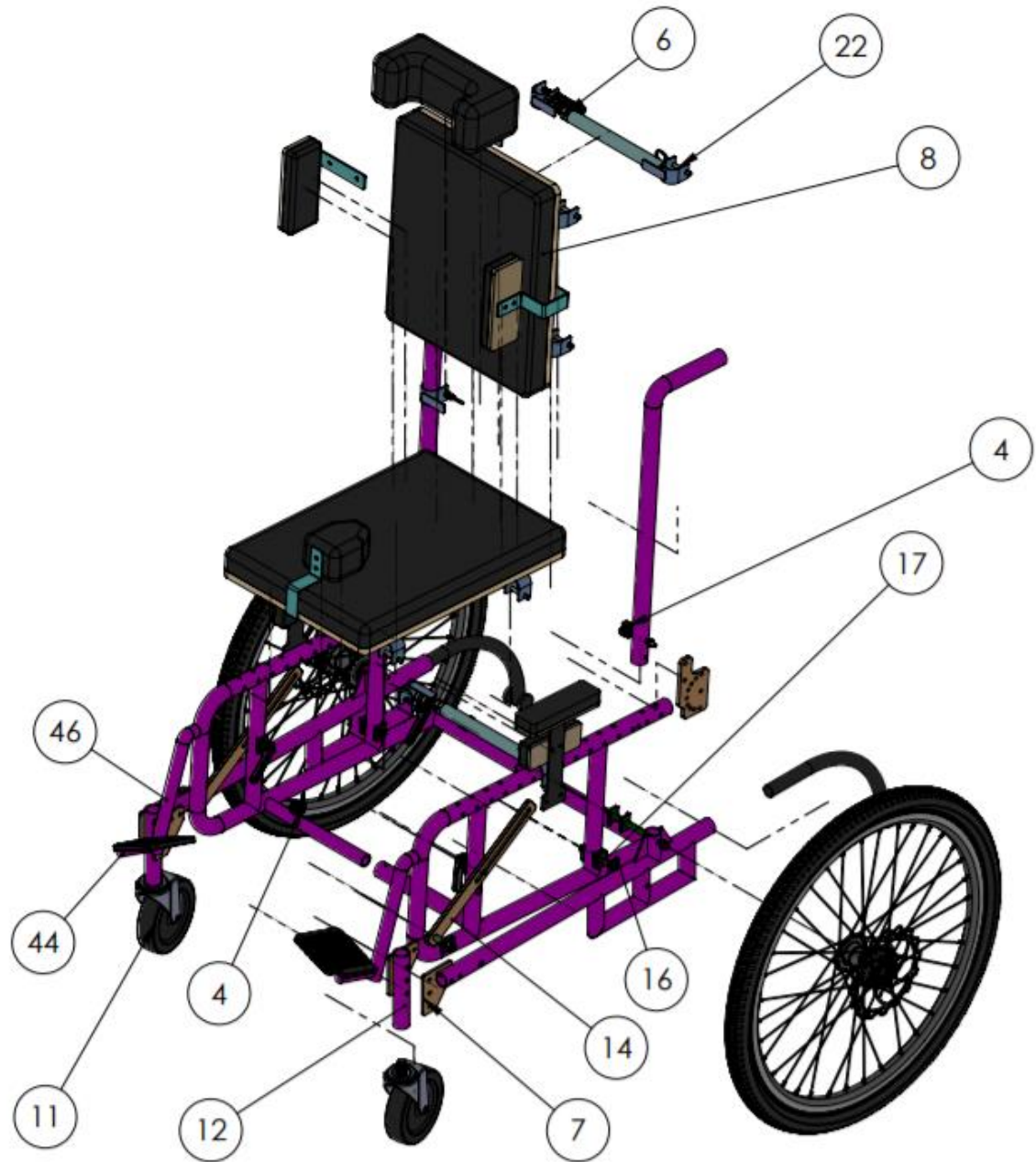


Figura 4.10 Vista explosionada parte 3.

#### IV. DISEÑO

Tabla 4.1. Tabla de elementos de la silla de ruedas.

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	lat wheel	Estructura fija de la silla de ruedas, en la cual se colocan las llantas	2
2	HANDLE	Tubos que conforman el respaldo	2
4	perilla	Perilla de plástico	4
5	HX-SHCS 0.25-20x2.5x1-N	Tornillo de acero de la perilla de plástico	2
6	HJNUT 0.2500-20-D-N	Turcas del tornillo de ajuste	16
7	REF RUEDA FRONT	Placa de unión de las ruedas delanteras	4
8	respaldo	Cojín del respaldo	1
9	Wheel 24 disk brake	Llantas traseras	2
10	lat silla	Tubos que conforman el asiento de la silla de ruedas	2
11	23005T41	Ruedas delanteras	2
12	front wheel base	Base de la rueda delantera	2
13	asiento	Cojín del asiento	1
14	giro esp	Mecanismo de inclinación en el espacio	2
19	PERNO LLANTAS	Perno de las ruedas traseras	2
20	varilla roscada .5 -13	Varilla roscada del tornillo de ajuste	2
21	TUBO HUECO T P	Tubo hueco del tornillo de ajuste	2
22	bracket std	Bracket del tornillo de ajuste	12
23	bracket std part2	Part superior del bracket del tornillo de ajuste	12
24	piv central	Parte del tronillo de ajuste	2
25	4-EXP-SPND-1.50	Parte del tornillo de leva	4
26	4expfbushdoubleEXPAND	Parte del tornillo de leva	28
27	4expmbushdouble	Parte del tornillo de leva	28
28	4EXPWASH	Arandela plana del tornillo de leva	4
29	B4EXPHNDL	Perilla del tornillo de leva	4
32	4EXPFBUSH	Arandela grower	4
33	4-DEP-1.25-S	Pivote del perno de tirón	10
34	4-DEP-S-CAP	Parte del perno de tirón	10
37	3-DEP-RING	Anillo del perno de tirón	10
38	BRACKET 1	Bracket del soporte cefálico	1
39	CABEZA	Cojín del soporte cefálico	1
40	ABD S	Bracket del cojín abductor	1
41	CENTR SUP	Cojín abductor	1
42	LATERAL SUPP	Soporte postural torácico	2
43	LATERAL SOP SILLA	Cojín del soporte postural torácico	2
44	posa pie 2	Estructura donde se sujeta el descansapie	2
45	posa pie 0	Placa del descansapie	2
46	posa pie	Tubo que une al descansapie con la estructura lateral de la silla de ruedas	2
47	link2 modif	Placa de inclinación del respaldo	2
48	reposabrazo	Reposabrazo	2
49	soporte cadera	Cojín soporte lateral de cadera	2
50	anticaida	Mecanismo antivuelco	2

## CAPÍTULO 5

### ANÁLISIS ESTRUCTURAL

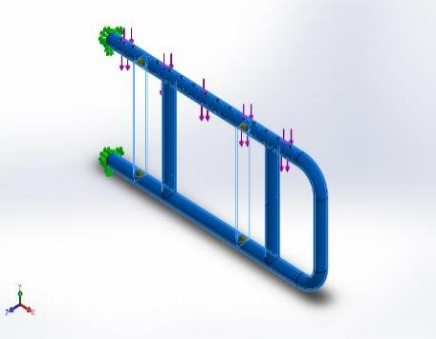
La simulación y análisis estructural con elemento finitos ayuda a determinar la resistencia y rigidez de un producto a través de la medición de desplazamientos, esfuerzos, velocidad y aceleración en los componentes debido a una carga mecánica. Por otro lado, la simulación también ayuda a reducir cambios en prototipos o diseño posteriores [35].

Por medio de la herramienta de simulación de Solidworks que forma parte del CAD 3D de Solidworks, fue posible realizar un análisis estructural por elemento finitos de las piezas y ensambles de la silla de ruedas.

#### 5.1 Análisis del asiento de la silla de ruedas

Para la realización del análisis de la parte lateral del asiento y del respaldo, se seleccionó el material ASTM A36. Algunas de las propiedades de este acero son: límite elástico de 250 MPa, módulo elástico de 200,000 MPa, coeficiente de Poisson de 0.26 y módulo cortante de 79.3 MPa, y otras que se muestran en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Propiedades del material del asiento y del respaldo de la silla de ruedas

Modelo	Propiedades del material
	<p><b>Nombre:</b> ASTM A36 Acero</p> <p><b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal</p> <p><b>Criterio de error predeterminado:</b> Tensión de Von Mises máx.</p> <p><b>Límite elástico:</b> <math>250 \times 10^6</math> N/m<sup>2</sup> (Pa)</p> <p><b>Límite de tracción:</b> <math>400 \times 10^6</math> N/m<sup>2</sup> (Pa)</p> <p><b>Módulo elástico:</b> <math>200 \times 10^9</math> N/m<sup>2</sup> (Pa)</p> <p><b>Coficiente de Poisson:</b> 0.26</p> <p><b>Densidad de masa:</b> 7850 kg/m<sup>3</sup></p> <p><b>Módulo cortante:</b> <math>79.3 \times 10^6</math> N/m<sup>2</sup> (Pa)</p>

Para llevar a cabo el análisis del asiento de la silla de ruedas, se decidió aplicar el material ASTM A36, debido a que es un acero de propósito general y comúnmente usado. Al ensamble de la parte lateral del asiento de la silla de ruedas se le aplicaron dos restricciones de tipo fijo en los extremos posteriores de los tubos barrenados que lo conforman. La carga externa aplicada a la pieza fue 500 N. Se eligió esta carga debido a que uno de los requisitos de diseño es que la silla pueda soportar un máximo de 100 kg en total, y suponiendo que este peso será distribuido uniformemente entre las dos partes laterales de la silla de ruedas, cada soporte lateral deberá de soportar 50 kg lo que corresponde aproximadamente a 500N. En la figura 5.1 se puede observar la parte lateral del asiento con las restricciones y las cargas, en flechas de color verde y morado respectivamente.

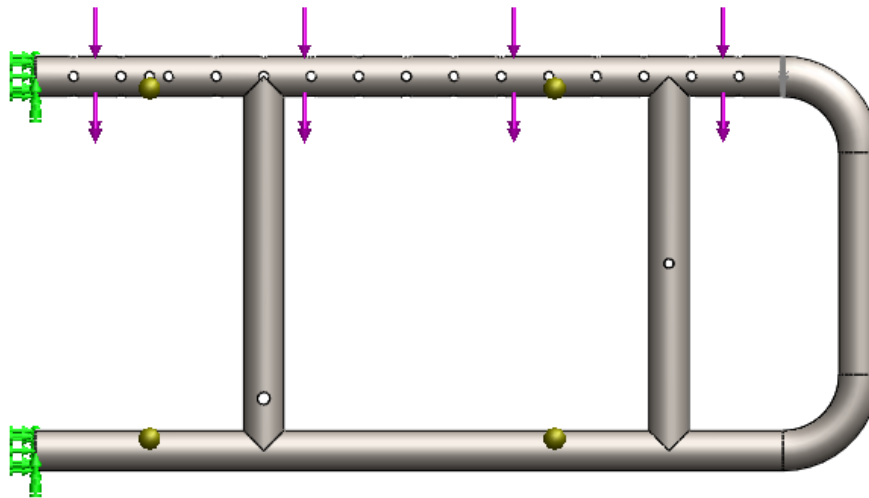


Figura 5.1. Restricciones y cargas aplicadas a la parte lateral de la silla de ruedas.

La malla creada para el análisis de la parte lateral del asiento, es una malla mixta con un total de 13,421 elementos, cada uno con un tamaño de 0.4038 pulgadas (10.2572 mm). En la tabla 5.2 se observan más características del mallado.

Tabla 5.2 Detalles de la malla del asiento

Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático lat (-Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de malla	Malla mixta
Mallador utilizado	Malla estándar
Transición automática	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla	Desactivar
Puntos jacobianos	4 puntos
Verificación jacobiana para el vaciado	Desactivar
Tamaño de elementos	0.403829 in
Tolerancia	0.0201915 in
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	28130
Número total de elementos	13421

Los resultados obtenidos fueron en términos de esfuerzos, desplazamientos y deformaciones unitarias que se presentaron en la parte lateral del asiento al aplicarse una carga externa.

Los esfuerzos se calcularon utilizando el criterio de esfuerzo máximo de Von Mises, el cual expone que un material dúctil comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión de Von Mises es igual al límite elástico [32]. Los resultados obtenidos fueron un esfuerzo mínimo de  $5.303 \times 10^{-2}$  MPa y un esfuerzo máximo de  $4.298 \times 10^{+1}$  MPa, con un límite elástico de  $2.500 \times 10^{+2}$  MPa. La Figura 5.2 muestra los resultados a través de una escala de colores, en la cual el color azul está relacionado con el valor mínimo obtenido, mientras que el color rojo se relaciona con el valor máximo obtenido. La parte con mayor tensión nodal se encuentra en la parte posterior de la estructura del asiento, mientras que la tensión mínima se ubica en la parte frontal.

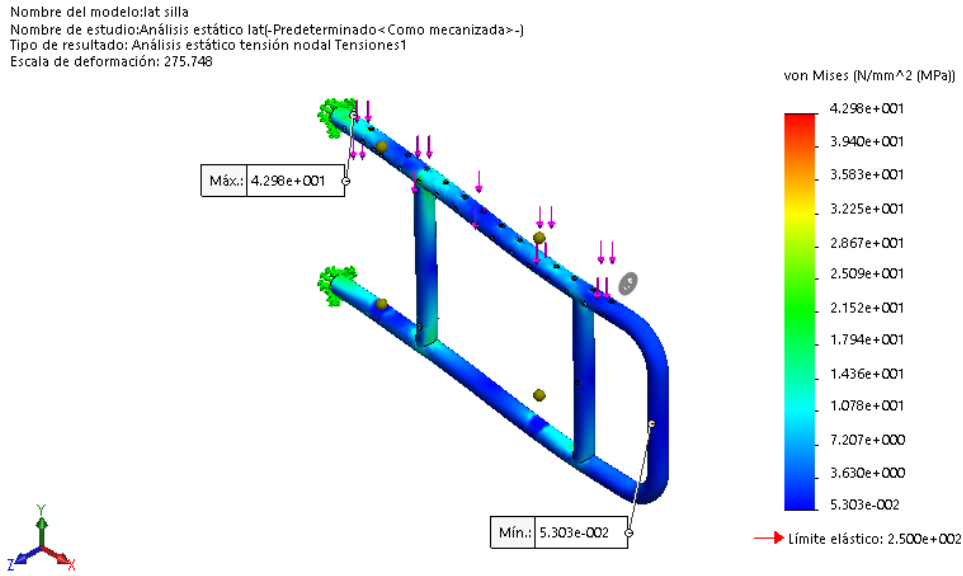


Figura 5.2. Análisis estático de esfuerzo nodal del lateral de la silla de ruedas.

Con sujeciones fijas y una carga aplicada de 500N se obtuvo que los desplazamientos que se presentaron en la pieza sometida fueron de un valor mínimo de  $1.000 \times 10^{-30}$  mm y un máximo de  $1.256 \times 10^{-1}$  mm. En la figura 5.3 se presentan los desplazamientos causados por la influencia de la carga aplicada, se puede observar que la parte frontal de la estructura es dónde se genera mayor desplazamiento.

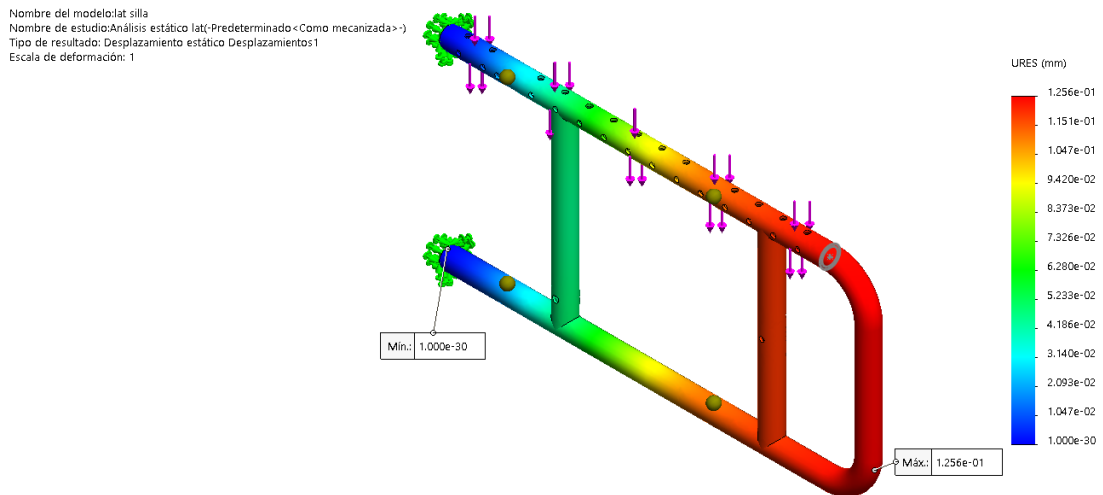


Figura 5.3. Análisis estático de desplazamiento del lateral de la silla de ruedas.



En la figura 5.4 se muestran los resultados obtenidos para la deformación unitaria, la cual es una medida adimensional debido a que es una relación del cambio de longitud con respecto a la longitud inicial. Al igual que en las tensiones, la parte posterior fue la que presenta una deformación unitaria mayor de  $1.195 \times 10^{-4}$ , mientras que un valor mínimo de  $5.717 \times 10^{-7}$  se obtuvo en la parte frontal.

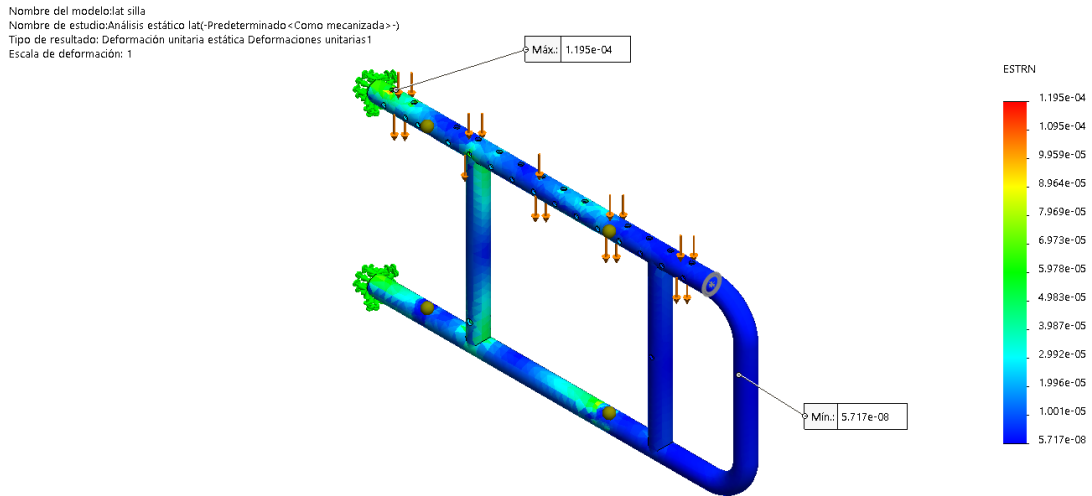


Figura 5.4. Análisis estático de deformación unitaria del lateral de la silla de ruedas.

En términos generales, se entiende que seguridad es evitar que la estructura o el elemento diseñado alcance o sobrepase un estado límite aceptable. Este límite es el de falla o colapso de la estructura del elemento diseñado en cuestión. Para medir cuantitativamente la seguridad, se utiliza el concepto de factor de seguridad (FDS). Uno de los métodos para calcularlo es a través del criterio de Von Mises, el cual dice que el material empieza a ceder cuando la tensión de Von Mises es igual al límite de tensión. El FDS calculado para esta pieza es de 6.1. En la figura 5.5 se representa la distribución del factor de seguridad.

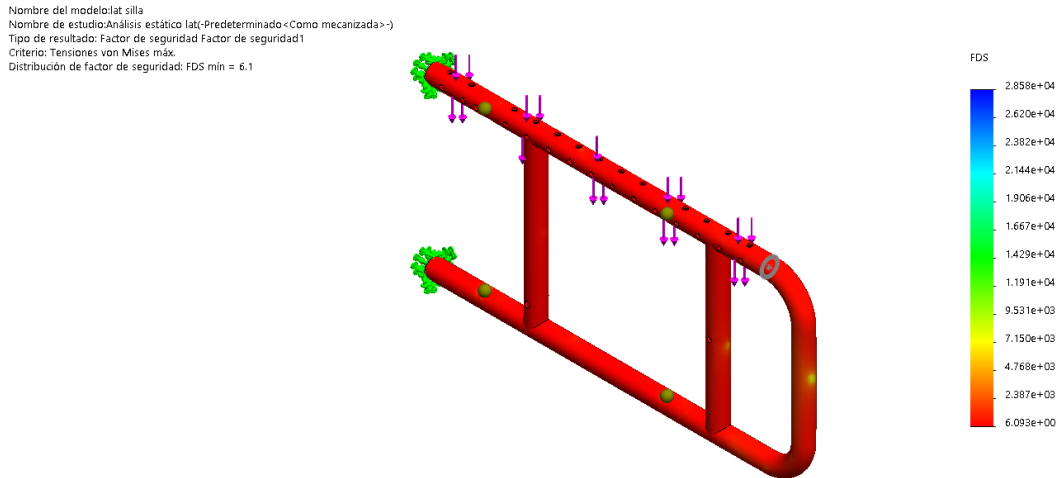


Figura 5.5. Distribución del factor de seguridad del lateral de la silla de ruedas.

### 5.2 Análisis del respaldo de la silla de ruedas

El análisis se llevó a cabo en el ensamble conformado por la parte lateral del asiento y respaldo de la silla de ruedas, tomando en cuenta el mecanismo que une ambas piezas. Esto con la finalidad de que los resultados obtenidos fueran lo más precisos y reales posibles.

Al ensamble se le aplicaron sujeciones fijas en donde están localizados los tornillos del mecanismo de unión, cabe mencionar que esta es la parte más crítica del ensamble. Por otro lado, se aplicó una carga de 500 N, que simulará el peso de un paciente recargado en el respaldo. Al igual que en el análisis anterior, en la figura 5.6 se muestran las sujeciones fijas se representan con flechas verdes y las cargas con flechas moradas.

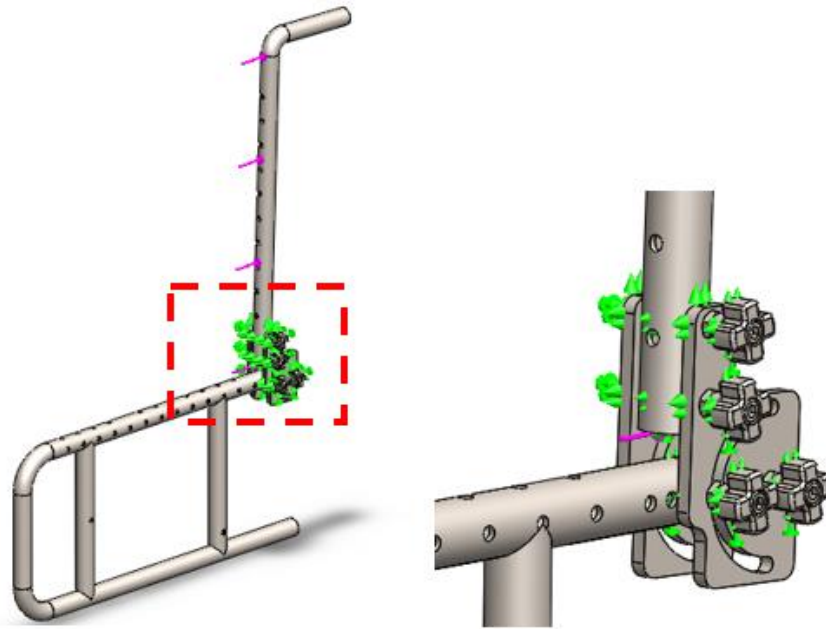


Figura 5.6. Restricciones y cargas aplicadas al respaldo de la silla de ruedas.

Para este análisis en particular, la malla generada fue mixta con un total de 32,147 nodos y 17,410 elementos, como se muestra en la tabla 5.3.

Tabla 5.3 Detalles de la malla del respaldo.

Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático 1 (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla mixta
Mallador utilizado	Malla estándar
Transición automática	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla	Desactivar
Puntos jacobianos	4 puntos
Verificación jacobiana para el vaciado	Desactivar
Tamaño de elementos	0.176118 in
Tolerancia	0.00880591 in
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	32147
Número total de elementos	17410

Para la carga aplicada, el análisis de tensión en el respaldo, generó un esfuerzo máximo de  $1.023 \times 10^{+2}$  MPa. La figura 5.7 muestra los esfuerzos obtenidos para el respaldo de la silla de ruedas.

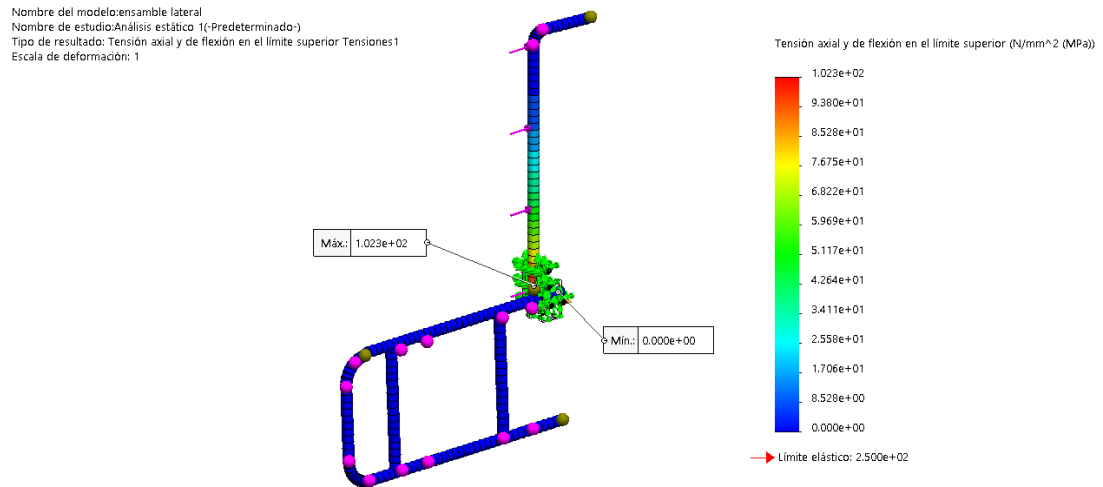


Figura 5.7. Análisis estático de esfuerzo del respaldo de la silla de ruedas.

En la figura 5.8 se muestran los desplazamientos que se obtuvieron en la simulación en el respaldo de la silla de ruedas, los resultados obtenidos fueron un desplazamiento mínimo de  $1.000 \times 10^{-30}$  mm y un desplazamiento máximo de 2.574 mm. Ambos valores se obtuvieron en la parte del mango de empuje de la silla de ruedas.

Nombre del modelo: ensamble lateral  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
Escala de deformación: 1

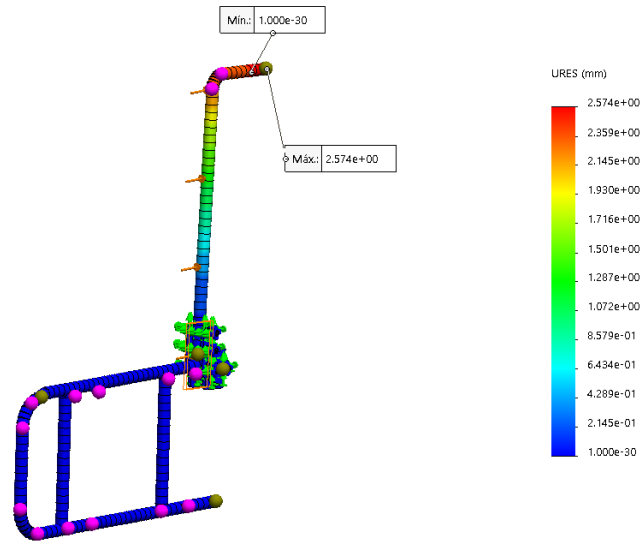


Figura 5.8. Análisis estático de desplazamiento del respaldo de la silla de ruedas.

La deformación unitaria obtenida en la simulación del respaldo de la silla de ruedas fue de cero, como se muestra en la figura 5.9.

Nombre del modelo: ensamble lateral  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1  
Escala de deformación: 1

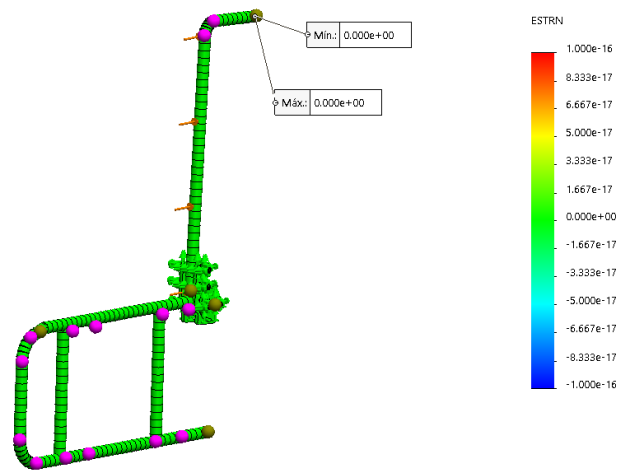


Figura 5.9. Análisis estático de deformación unitaria del respaldo de la silla de ruedas.

La simulación arrojó un factor de seguridad igual a 2.4. En la figura 5.10 se representa la distribución del factor de seguridad con un valor mínimo de 2.4 y un valor máximo de  $1.000 \times 10^{16}$ .

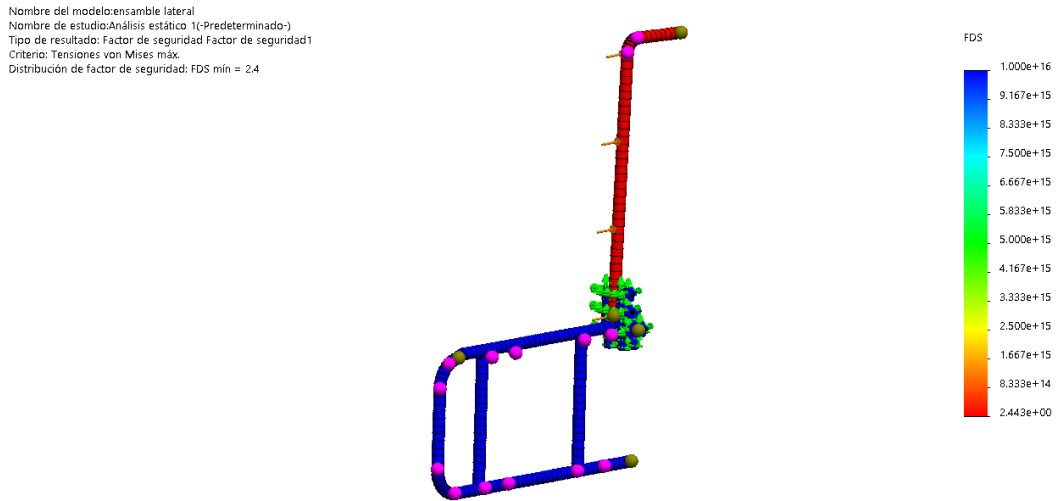


Figura 5.10. Distribución del factor de seguridad del respaldo de la silla de ruedas.

### 5.3 Análisis estático en el ensamble de la estructura de la silla de ruedas

Para asegurarse de que la estructura de la silla de ruedas soporte una carga mayor a los 1000 N, se realizó un análisis estructural estático en el ensamble de las piezas que lo componen. En la Figura 5.11 se muestra el ensamble analizado con las cargas y restricciones aplicadas. En color morado se encuentran las cargas de aproximadamente 1470.99 N (150 kg) aplicadas al asiento, mientras que en color verde se muestran las restricciones del tipo fijas aplicadas en las zonas donde se ubican la ruedas.

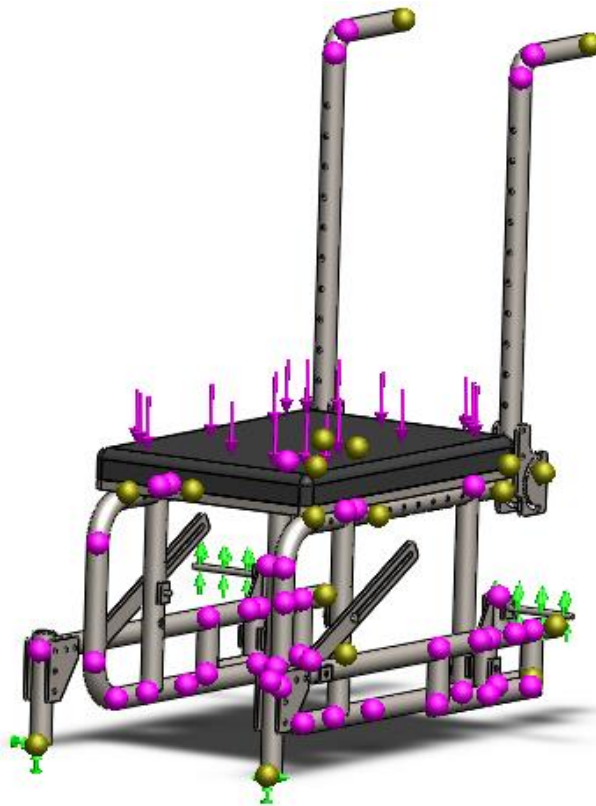


Figura 5.11. Restricciones y cargas aplicadas al ensamble de la silla de ruedas.

El mallado realizado para el análisis el ensamble de la silla de ruedas, es del tipo mixto basado en curvatura con 19,356 elementos y 6,597 nodos. En la tabla 5.4 se pueden observar más detalles de la malla.

Tabla 5.4 Detalles de la malla del ensamble

Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático 1 (-análisis-)
Tipo de malla	Malla mixta
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 puntos
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máx. de elemento	1.89011 in
Tamaño mín. de elemento	0.378022 in
Calidad de malla	Elementos lineales de bajo orden
Número total de nodos	6597
Número total de elementos	19356
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Activar

La Figura 5.12 muestra los resultados obtenidos para el análisis de esfuerzos con una escala de deformación igual a 1. El esfuerzo máximo obtenido fue de 60.2003 MPa. En la figura se puede observar que la zona con el mayor esfuerzo es en la parte posterior del asiento. El resultado del esfuerzo máximo obtenido está muy por debajo del límite elástico del material, que es de 250 MPa, lo cual nos indica, que con una carga aplicada de 150 Kg no se genera deformaciones plásticas del material.



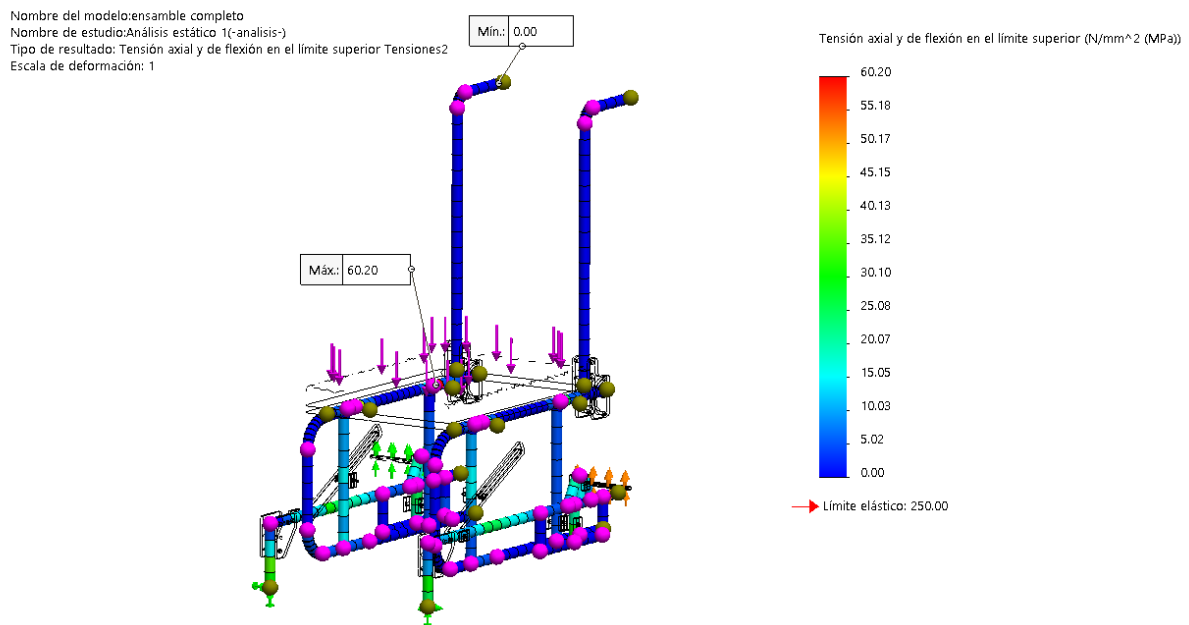


Figura 5.12. Análisis estático de esfuerzo del ensamble de la silla de ruedas.

Con una carga de 1470.99 N y con sujeciones fijas, los desplazamientos obtenidos por el análisis se muestran en la Figura 5.13 los cuales fueron de un valor máximo de 0.38 mm y un mínimo de 0 mm.

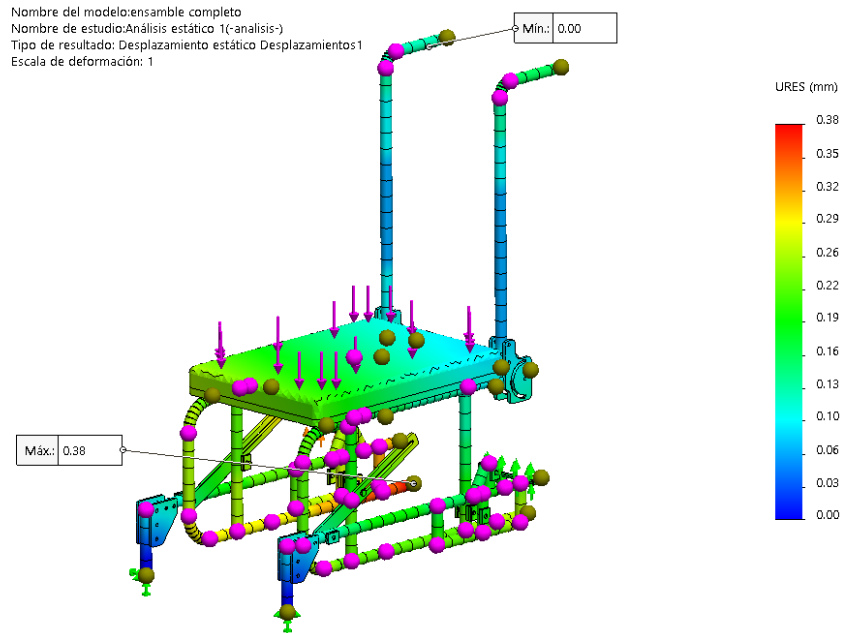


Figura 5.13. Análisis estático de desplazamientos del ensamble de la silla de ruedas.

En el análisis de deformación del ensamble, la relación del cambio de longitud con respecto a la longitud inicial obtuvo un valor máximo de  $1.02 \times 10^{-3}$ . La mayor deformación se encuentra en los postes de la estructura de la silla de ruedas, como se muestra en la figura 5.14.

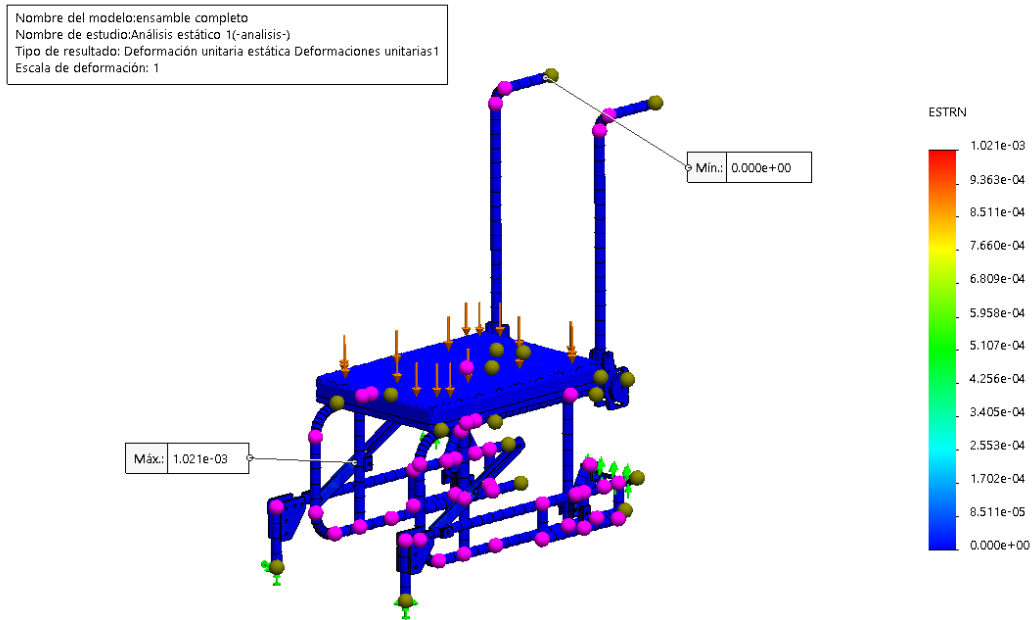


Figura 5.14 Análisis estático de deformación unitaria del ensamble de la silla de ruedas.

El análisis del FDS se hizo utilizando el criterio de tensiones de Von Mises. En la Figura 5.15 se observa que el factor de seguridad mínimo obtenido para el ensamble, es de 2.2. El criterio de Von Mises señala que el FDS es la relación existente entre la resistencia a la fluencia del material con respecto al esfuerzo efectivo de Von Mises, mientras que esta relación sea mayor a 1, el diseño se considera seguro.

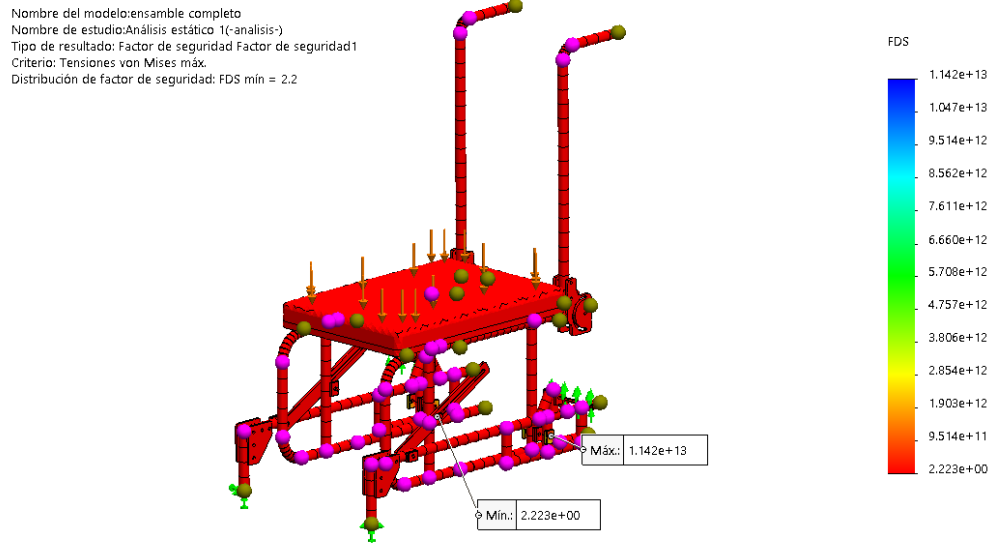


Figura 5.15 Distribución del factor de seguridad para el ensamble de la silla de ruedas.

## CAPÍTULO 6

### FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO DE LA SILLAS DE RUEDAS

#### 6.1 Materiales y herramientas

En este capítulo se detalla el proceso de fabricación y ensamble de cada uno de los componentes que conforman la silla de ruedas, así como los materiales, herramientas y accesorios utilizados durante el proceso.

Para la fabricación de la estructura de la silla de ruedas, compuesto por el chasis del asiento y respaldo, se utilizó como material principal acero C40 de 1 pulgada de diámetro. En la figura 6.1 se puede observar las características físicas de este acero.

Tabla 6.1 Características físicas para el tubo C40 [36].

TUBO CÉDULA 40												
DIÁMETRO NOMINAL		DIÁMETRO EXTERIOR		ESPESOR		PESO EXT. LISO		PESO ROSCA Y COPLÉ		PESO POR TUBO		
PULG	MM	PULG	MM	PULG	MM	KG/M	LB/PIE	KG/M	LB/PIE	EXTREMO LISO	CON ROSCA Y COPLÉ	TUBOS/TON.
1/2	13	0.840	21.34	0.109	2.77	1.265	0.85	1.265	0.85	8.096	8.096	124
3/4	19	1.050	26.67	0.113	2.87	1.681	1.13	1.681	1.13	10.758	10.758	93
1	25	1.315	33.40	0.133	3.38	2.500	1.68	2.500	1.68	16.00	16.00	63
1 1/4	32	1.660	42.16	0.140	3.56	3.378	2.27	3.393	2.28	21.619	21.715	46
1 1/2	38	1.900	48.26	0.145	3.68	4.048	2.72	4.063	2.73	25.907	26.003	39
2	50	2.375	60.33	0.154	3.91	5.432	3.65	5.479	3.68	34.765	35.046	29
2 1/2	64	2.875	73.03	0.203	5.16	8.616	5.79	8.661	5.82	55.142	55.430	18
3	76	3.500	88.90	0.216	5.49	11.280	7.58	11.339	7.62	72.192	72.570	14
4	102	4.500	114.30	0.237	6.02	16.057	10.79	16.205	10.89	102.765	103.712	10
6 5/8	168	6.625	168.28	0.280	7.1	29.650	19.91	-	-	177.90		5

La razón principal por la que se optó por utilizar acero como material para la estructura fue para que la silla de ruedas compartiera el mismo material con la mayoría de las sillas de ruedas existentes y debido a que es un material fácil de soldar, por otra parte, se decidió por el tubo C40 debido a que éste es más utilizado en proyectos de alta resistencia estructural.

## VI. FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO

---

A continuación, en la tabla 6.1 se enlistan los materiales y herramientas utilizadas durante la construcción del prototipo de la silla de ruedas.

Tabla 6.2 Materiales y herramientas utilizadas.

<b>Material</b>	<b>Herramienta</b>
1. Varilla roscada	1. Soldadora
2. Tubo industrial C18 de ½ pulgada	2. Taladro de banco
3. Tubo mecánico C40 de 1 pulgada	3. Pulidora
4. Soldadura (electrodos)	4. Taladro manual
5. Broca para taladro de ¼ de pulgada	
6. Tuercas en T de ¼ -20 x 5/16	
7. Pernos de tirón de ¼ x 1 – ¾	
8. Bloqueo delantero de bicicleta o tornillo con leva	
9. Solera	
10. Frenos para llanta	
11. Llanta de 24 pulgadas	
12. Llanta de 6 pulgadas	
13. Hule espuma	
14. Triplay	
15. Pegamento	
16. Tela automotriz	
17. Acrílico	
18. Discos de corte	
19. Perilla con tornillo	

## 6.2 Fabricación del asiento

La fabricación del asiento es lo primero que se realizó, dicha estructura está compuesta por 7 cortes de tubo C40 de las siguientes longitudes: a) 2 piezas de 50 cm, b) 2 piezas de 10 cm, c) 1 pieza de 15 cm y d) 2 piezas de 25 cm. Una vez que se cortaron cada una de las piezas necesarias, se continuó con el proceso de soldadura. En la figura 6.1 se puede observar el asiento en su resultado final, con cada uno de sus componentes señalados por incisos.



Figura 6.1 Prototipo del asiento.

Con el inciso a) se señalan a las 2 piezas con mayor longitud (50 cm), el tubo superior se encuentra barrenado a lo largo, debido a que en éste se colocan diferentes componentes que conforman la silla de ruedas, como el respaldo, el cojín del asiento y los reposabrazos. Los tubos marcados con el inciso d) cuentan con una perforación cada uno. En el perfil tubular de enfrente va sujetado el mecanismo de inclinación en el espacio, mientras que en el perfil posterior es en donde se une la estructura del asiento con la estructura fija de las llantas de la silla de ruedas, el cual se explica más adelante. En la pieza tubular marcada con el inciso c) van soldados los reposapiés.

### 6.3 Fabricación de la estructura fija de la silla de ruedas

Esta estructura es la parte fija de la silla de ruedas, es el componente que no va a cambiar su posición cuando el asiento y el respaldo cambien su grado de inclinación. En esta pieza se instalan las ruedas delanteras, llantas traseras, frenos, placas de inclinación en el espacio (sistema de basculación) y los tubos antivuelco. En la figura 6.2 se muestra la estructura terminada.



Figura 6.2 Prototipo de la estructura rígida de la silla de ruedas.

### 6.4 Fabricación del respaldo

La estructura del respaldo de la silla de ruedas tiene una longitud de 53 cm, en la parte inferior de cada uno de los tubos del respaldo se hicieron dos barrenos, ya que de ahí se fija la placa que los une al chasis del asiento y que permite ajustar el ángulo de inclinación de los tubos del respaldo como se muestra en la figura 6.3.





Figura 6.3 Prototipo del respaldo.

### **6.5 Fabricación del mecanismo de inclinación del respaldo**

El mecanismo de ajuste e inclinación del respaldo hace posible que los tubos del respaldo puedan cambiar su profundidad a lo largo de la estructura del asiento y al mismo tiempo permite que los tubos del respaldo se inclinen en un rango que va de  $-90^\circ$  a  $90^\circ$ . Como se muestra en la figura 6.4 el mecanismo de ajuste está fabricado de solera de  $\frac{1}{4}$  de pulgada de grosor, la cual fue cortada con una pulidora y barrenada con el taladro de banco, siguiendo las indicaciones del dibujo CAD.



Figura 6.4 Prototipo del mecanismo de ajuste del respaldo.

### 6.6 Fabricación del mecanismo de inclinación en el espacio

Para la fabricación del mecanismo de inclinación en el espacio, se utilizó una placa de acero de una longitud de 29 cm, la cual en uno de sus extremos cuenta con un barreno que es donde se atornilla a la estructura fija de la silla de ruedas, también cuenta con una ranura de 16 cm que permite el movimiento del tornillo con leva. La placa se fija de manera inclinada a la estructura fija y a través de la ranura y un tornillo con leva se sujeta a la estructura del asiento en el ángulo deseado. En la figura 6.5 se observa el mecanismo de inclinación en el espacio mientras que en la figura 6.6 se muestra el tornillo con leva utilizado para sujetar el mecanismo al asiento y para ajustar el ángulo de basculación de manera rápida y sencilla.



Figura 6.5 Prototipo del mecanismo de inclinación en el espacio.



Figura 6.6 Tornillo con leva.

### 6.7 Fabricación del mecanismo telescópico

El mecanismo telescópico está constituido por dos tubos de diferentes diámetros, el de diámetro mayor es de 1 pulgada y el de menor tamaño es de 0.859 de pulgada, esto permite que el tubo de menor diámetro exterior se pueda introducir y deslizar dentro del tubo de mayor diámetro. El mecanismo telescópico tiene las siguientes características:

- Material: acero
- Grosor de los tubos: 0.116 pulgadas
- Diámetro exterior mayor: 1 pulgada
- Diámetro exterior menor: 0.859 pulgada
- Longitud de transporte: 9 pulgadas
- Rango de longitud del mecanismo: de 9 a 18 pulgadas

En la figura 6.7 se muestra el mecanismo telescópico cuando se encuentra desmontado, mientras que en la figura 6.8 se muestran los tubos uno dentro del otro sujeto por una perilla con tornillo.



Figura 6.7 Prototipo del mecanismo telescópico desmontado.

Como se muestra en las figuras anteriores, el prototipo de la silla de ruedas lleva dos mecanismos telescópicos soldados en la parte inferior posterior y anterior de la estructura del asiento, esto además de permitirnos que la silla de ruedas pueda ser fácil de desarmar para su traslado, también brinda más estabilidad al diseño.

### **6.8 Fabricación de los tornillos de ajuste**

Los tornillos de ajuste son el mecanismo que va a determinar y fijar la anchura de la silla de ruedas, la cual va de la mano con la medida del usuario de la silla de ruedas. En el prototipo se colocaron 2 tornillos de ajuste, uno en el respaldo y otro el asiento.

Los tornillos de ajuste están constituidos por una varilla roscada de 3/8 de pulgada de diámetro y una longitud de 9 pulgadas. Esta varilla se enrosca por medio de una tuerca soldada en el extremo proximal de un tubo de 1/2 pulgada de diámetro exterior. Este mecanismo se coloca a los tubos del respaldo y el asiento a través de unos herrajes de sujeción que tienen soldados en cada uno de sus extremos y de un se sujeta por medio de un tornillo de leva y del otro extremo por un perno de tirón (figura 6.8). El rango de ajuste que brinda este mecanismo va de 9.44 pulgadas a 16.53 pulgadas, como se puede observar en la figura 6.9.



Figura 6.8 Tornillo con leva y perno de tirón.



Figura 6.9 Prototipo de los tornillos de ajuste.

### 6.9 Llantas delanteras, traseras y tubos antivuelco

Para el prototipo se utilizaron refacciones de llantas delanteras para silla de ruedas de 6 pulgadas y refacciones de tubos antivuelco. Mientras que los accesorios anteriores son refacciones de las sillas de ruedas que se encuentran en el mercado actual, para las llantas traseras se decidió no seguir con lo convencional y se optó por utilizar llantas para bicicleta con cámara de uso rudo rodada 26 pulgadas con rin de aluminio de fácil y bajo costo de reparación. En la figura 6.01 se pueden observar las llantas delanteras, traseras y los tubos antivuelco colocados en la estructura de la parte fija de la silla de ruedas.



Figura 6.10 Llantas delanteras, traseras y tubos antivuelco.

### 6.10 Frenos

Los frenos utilizados son frenos con zapata de aluminio, los cuales se anclan al tubo del chasis de la silla de ruedas gracias a una abrazadera de montaje, como se muestra en figura 6.11. Este tipo de frenos son más comunes que los frenos de tijera en las sillas de ruedas.



Figura 6.11 Freno para silla de ruedas con abrazadera de montaje.

## **CAPÍTULO VII**

### **RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

#### **7.1 Resultados con respecto a los objetivos propuestos**

En un inicio del proyecto, se estableció como objetivo principal el diseño de una silla de ruedas ajustable para personas con parálisis cerebral.

Para lograr el objetivo se comenzó por conocer la problemática, lo que nos dio como resultado el análisis antropométrico, la tabla comparativa de seis sillas de ruedas en el mercado actual, los requisitos de diseño y criterios de selección.

Una vez que se analizó toda la información obtenida en la primera parte del proceso, se continuó con la parte de creación de los conceptos de diseño, de lo cual se obtuvo la elaboración de un diseño innovador, factible y seguro utilizando el diseño asistido por computadora, cuyas propiedades físicas se presentan en la figura 7.1.

Para comprobar que el diseño propuesto cumple con el requisito de seguridad, se sometió a un análisis estático mediante un software CAE, el cual dio a conocer que la silla de ruedas sometida a una carga de 150 kilogramo fuerza (Kgf), genera un esfuerzo máximo de 60.11 MPa (por debajo del límite elástico del material seleccionado), con un desplazamiento máximo de 0.30 mm en la estructura rígida del asiento, una deformación unitaria de  $1.021 \times 10^{-3}$  mm y un FDS de 2.2. Más adelante se realiza este mismo análisis, pero con cargas diferentes para comparar cómo es que los esfuerzos, desplazamientos, deformaciones y el FDS se ven afectados y conocer el comportamiento de la silla de ruedas.

El resultado final fue la fabricación del primer prototipo de la silla de ruedas, conformada por una estructura de acero de 1 pulgada de diámetro, como se muestra en la figura 7.2. La silla de ruedas cuenta con las siguientes características:



1. Anchura ajustable que va desde los 25 cm a los 43 cm.
2. Respaldo reclinable.
3. Inclinación en el espacio
4. Descansapiés ajustables 13 cm.
5. Llantas traseras todo terreno de 26 pulgadas con rin de aluminio.
6. Llantas delanteras de plástico de 6 pulgadas.
7. Descansabrazos desmontables.
8. Tiene un peso de 16.48 Kg.
9. Puede soportar un peso de 250 Kg con un FDS de 1.11.
10. Frenos.
11. Tubos antivuelco.
12. Es fácil de transportar.

Durante el proceso del diseño mecánico, se presentaron dificultades. En un inicio se había planteado que la silla de ruedas contara con cuatro mecanismos telescópicos, dos en el respaldo y dos la parte del asiento, de cuatro niveles cada uno para lograr que fuera plegable, al último se decidió que sólo fueran dos mecanismos telescópicos de dos niveles, ubicados en la parte inferior de la estructura del asiento (Figura 6.9 y 6.9). Y los otros dos se sustituyeron por dos tornillos de ajuste (Figura 6.10), uno localizado en el respaldo y el otro en la parte superior del asiento. Este cambio fue debido a que no se consideró el tamaño comercial estándar en el que se encuentra la tubería de acero.

Durante la etapa de manufactura fue donde más complicaciones se presentaron, esto a causa de las instalaciones inapropiadas en las que se fabricó el prototipo, la falta de herramental y la poca experiencia en el manejo de ciertas herramientas. Un ejemplo de esto, es que las estructuras laterales, principalmente en donde se unen dos cortes de tubería de acero, no se pudieron doblar, por lo tanto, se tuvieron que seccionar y unir por medio de un corte a 45°, esto se puede ver en las esquinas frontales de la estructura del asiento y en los mangos de empuje del respaldo.

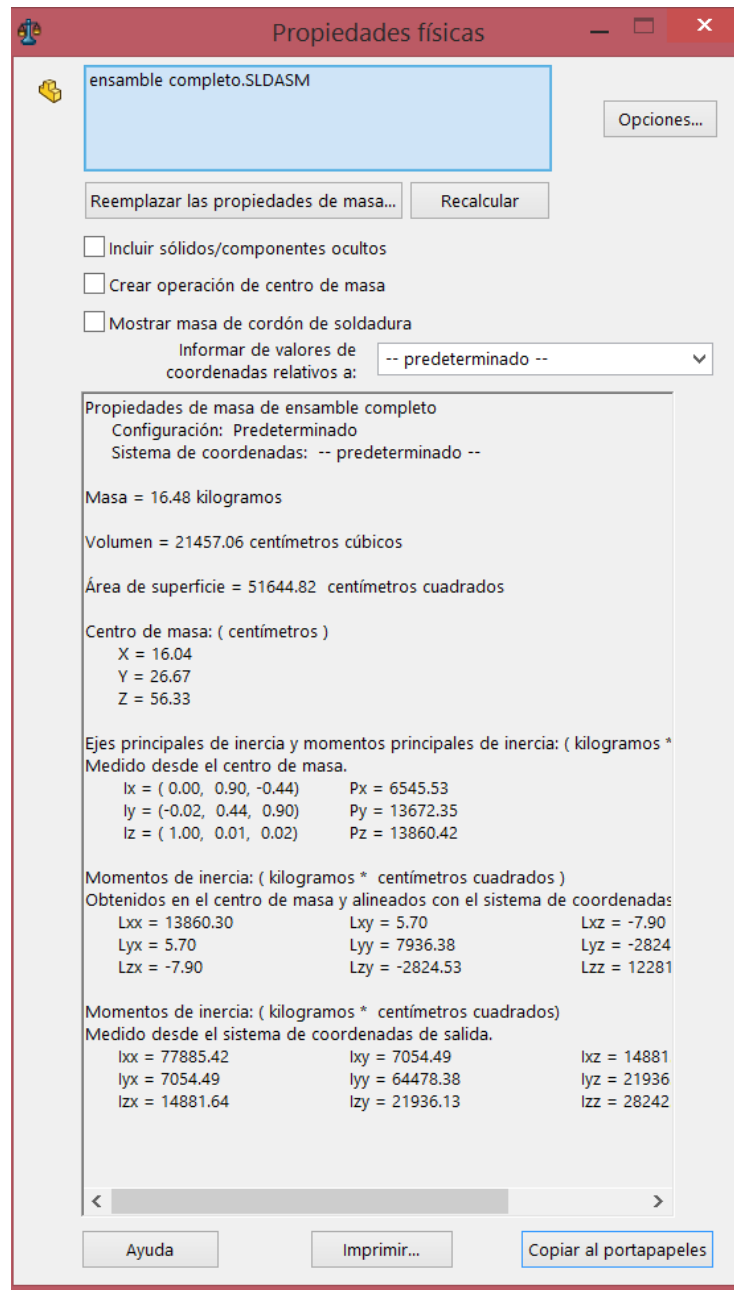


Figura 7.1. Propiedades físicas del prototipo de la silla de ruedas.



Figura 7.2. Prototipo de la silla de ruedas ensamblado.

## 7.2 Resultados del diseño

Para conocer el comportamiento del modelo 3D, se realizó un análisis estático de esfuerzo, desplazamiento, deformación unitaria y FDS bajo diferentes cargas. Este análisis se realizó en cada uno de los componentes principales de la silla de ruedas y en el ensamble completo. En la tabla 7.1 se pueden observar los resultados numéricos obtenidos.

Para el estudio de la estructura lateral del asiento se utilizaron cargas que van de los 50 Kgf a los 200 Kgf en intervalos de 50. Se puede observar que conforme aumenta la carga aplicada también aumenta la resistencia del material en el área sometida. Para la carga de 50 Kgf se obtuvo un desplazamiento de  $1.25 \times 10^{-1}$  mm y un factor de seguridad de 6.1. Con una carga de 200 Kgf, el desplazamiento obtenido fue de  $7.39 \times 10^{-1}$  mm, mientras que el del FDS es de 1.03. Si en dado caso la carga excediera los 200 Kgf en el lateral del asiento existe la posibilidad de que se presente una falla.

En el análisis del lateral de la silla de ruedas, se utilizaron las mismas cargas que en el análisis anterior. Para este caso con una carga de 50 Kgf lo resultados fueron para el esfuerzo de  $1.02 \times 10^2$  MPa, con un desplazamiento de 2.57 mm, y FDS de 2.4. Para el análisis con 200 Kgf se obtuvo un esfuerzo máximo de  $4.09 \times 10^2$  MPa, un desplazamiento de  $1.02 \times 10^1$  mm y un FDS igual a 0.61. A diferencia del lateral del asiento que puede presentar falla hasta verse sometido a una carga de 200 Kgf, el lateral del respaldo a una carga de 150 Kgf presenta un FDS de 0.81, lo que lo hace riesgoso.

Para el estudio del ensamble completo se utilizaron cargas que van de los 100 Kgf a los 250 Kgf, en intervalos de 50. Para la carga menor se obtuvo un esfuerzo máximo de 60.11 MPa, con un desplazamiento igual a 0.38 mm con un FDS de 2.2. Por otro lado, para la carga de 250 Kgf, los resultados fueron un esfuerzo de 120 MPa, un desplazamiento de 0.77 mm y un FDS igual a 1.11. Con este estudio se determinó que

la silla de ruedas puede soportar hasta una carga de 250 Kgf sin representar un riesgo para el usuario.

Con este análisis se observa que existe una relación lineal entre las cargas aplicadas y los esfuerzos de los elementos analizados.

Es importante mencionar que el análisis del ensamble completo aplica cuando la silla de ruedas se encuentra en una posición neutral, es decir sin inclinación. Por su parte, los valores obtenidos para el lateral del respaldo son únicamente válidos para una posición horizontal y por cada elemento, es decir, que si en la tabla 7.1 se muestra que para una carga de 100 Kgf tengo un FDS igual a 1.2, en realidad sería ese mismo factor de seguridad, pero para 200 Kgf, ya que el respaldo está conformado por dos elementos laterales.

Tabla 7.1 Tabla comparativa de análisis estático bajo diferentes cargas.

Elemento a analizar	Carga (Kgf)	Esfuerzo (MPa)		Desplazamiento (mm)	FDS
Análisis lateral asiento	50	Máx.	$4.29 \times 10^1$	$1.25 \times 10^{-1}$	$2.85 \times 10^4$
		Mín.	$5.30 \times 10^{-2}$	$1.00 \times 10^{-30}$	6.1
	100	Máx.	$5.58 \times 10^1$	$2.46 \times 10^{-1}$	$1.45 \times 10^4$
		Mín.	$2.67 \times 10^{-2}$	$1.00 \times 10^{-30}$	3.1
	150	Máx.	$8.37 \times 10^1$	$3.69 \times 10^{-1}$	$9.71 \times 10^3$
		Mín.	$4.00 \times 10^{-2}$	$1.00 \times 10^{-30}$	2.1
200	Máx.	$1.67 \times 10^2$	$7.39 \times 10^{-1}$	$4.85 \times 10^3$	
	Mín.	$8.00 \times 10^{-2}$	$1.00 \times 10^{-30}$	1.03	
Análisis lateral respaldo	50	Máx.	$1.02 \times 10^2$	2.57	$1.00 \times 10^{16}$
		Mín.	0	$1.00 \times 10^{-30}$	2.4
	100	Máx.	$2.04 \times 10^2$	5.14	$1.00 \times 10^{16}$
		Mín.	0	$1.00 \times 10^{-30}$	1.2
	150	Máx.	$3.07 \times 10^2$	7.72	$1.00 \times 10^{16}$
		Mín.	0	$1.00 \times 10^{-30}$	0.81
200	Máx.	$4.09 \times 10^2$	$1.02 \times 10^1$	$1.00 \times 10^{16}$	
	Mín.	0	$1.00 \times 10^{-30}$	0.61	
Análisis ensamble	100	Máx.	60.11	0.38	$1.14 \times 10^{13}$
		Mín.	0	0	2.2
	150	Máx.	80.15	0.51	$1.00 \times 10^{12}$
		Mín.	0	0	1.66

completo	200	Máx.	100.18	0.64	$8.00 \times 10^{12}$
		Mín.	0	0	1.33
	250	Máx.	120.00	0.77	$5.70 \times 10^{12}$
		Mín.	0	0	1.11

### 7.3 Conclusiones y trabajo futuro

En el presente trabajo se propuso un diseño innovador, realista y factible de una silla de ruedas ligera, ajustable y fácil de transportar para personas con discapacidad motriz a causa de la parálisis cerebral.

La aportación principal de este trabajo consiste en el diseño mecánico de componentes tridimensionales que hacen posible que la silla de ruedas propuesta logre cumplir con cada uno de los criterios de diseño y criterios de selección propuestos en el capítulo III. Dichas características consisten en que el ancho la silla de ruedas sea ajustable, el respaldo y el asiento sean reclinables y pueda ser plegable.

El diseño mecánico presentado en el capítulo IV, fue sometido a un análisis estático, en el cual se analizaron por separado el mecanismo del asiento y respaldo, y por último se analizó el ensamble de la estructura de la silla de ruedas. En este último análisis se consideró una carga de 150 Kg para la realización de los cálculos correspondientes con el objetivo de conocer si el diseño propuesto es adecuado y seguro. Como resultado a dicho análisis, se obtuvo que el ensamble de la silla de ruedas presenta un factor de seguridad de 2.2, lo cual nos indica que el diseño es seguro.

La última parte de este trabajo incluye la fabricación del primer prototipo de la silla de ruedas, la cual se llevó a cabo en acero C40, debido a que es un material fácil de soldar. Las propiedades del prototipo son un rango de ajuste del ancho de la silla de ruedas de 23 a 43 cm, un peso de 16.40 Kg, llantas delanteras de caucho, llantas traseras de uso rudo, con asiento y respaldo reclinables.

Un factor a considerar que ofrece la silla de ruedas en cuestión, es lo fácil que cada uno de sus componentes se desmonta. La silla de ruedas se puede partir por la mitad a lo largo de eje longitudinal, los cojines del asiento y respaldo, los tornillos de ajuste y el soporte cefálico son fáciles de quitar, lo que nos facilita el transporte y/o almacenaje de la silla de ruedas.

Una vez que se finalizó con la fabricación del prototipo de la silla de ruedas se detectaron algunas áreas de oportunidad que se pueden trabajar en un futuro. Estas mejoras implican, que a las llantas traseras se les agregue un buje de liberación rápida para que la silla sea más portable. Otra mejora que se puede realizar es modificar el peso de la silla de ruedas, lo cual se puede lograr con cambiar el tubo C40 utilizado, por otro con un diámetro más pequeño y menor grosor, también se puede modificar el material de algunos elementos, como lo son los reposapiés y reposabrazos.

Como trabajo futuro se puede continuar con la parte de prueba en pacientes con parálisis cerebral y sus familiares, para saber si la silla de ruedas en realidad está cumpliendo con sus necesidades y cubre con todos los requisitos de diseño. Una vez terminada la etapa de prueba, se requiere hacer los cambios necesarios para mandar la silla de ruedas a la Sociedad Internacional de Profesionales de Silla de ruedas, ISWP por sus siglas en inglés, para que le realicen pruebas de durabilidad y resistencia de ruedas, corrosión, tensiones mecánicas y efectos de factores ambientales, con la finalidad de que la silla de ruedas esté calificada para poder ser usada siguiendo las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud.

## REFERENCIAS

- [1] OMS, “Informe Mundial sobre la Discapacidad,” 2011.
- [2] INEGI, “La discapacidad en México. Datos al 2014,” 2016.
- [3] OMS, “OMS | Tecnología de asistencia,” *WHO*, 2016.
- [4] OMS, “Pautas para el suministro de sillas de ruedas manuales en entornos de menores recursos,” *Pautas para el Suminist. sillas ruedas manuales*, p. 137, 2008.
- [5] “La historia de la silla de ruedas: Evolución hasta nuestros días,” *Sunrise Medical*, 2018. [Online]. Available: <https://www.sunrisemedical.es/blog/historia-silla-de-ruedas#>.
- [6] J. O. Mahmud, S. A. Khor, M. S. M. Ismail, J. M. Taib, N. R. Ramlan, and K. W. Ling, “Design for paraplegia: Preparing product design specifications for a wheelchair,” *Technol. Disabil.*, vol. 27, no. 3, pp. 79–89, 2015.
- [7] “Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.” [Online]. Available: <https://www.gob.mx/impi>. [Accessed: 25-Oct-2017].
- [8] OMS, “Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud,” 2001.
- [9] OMS, “OMS | Discapacidad y salud,” *WHO*, 2016.
- [10] “SpinLife.” [Online]. Available: <https://www.spinlife.com/critpath/match.cfm?categoryID=43>. [Accessed: 25-Oct-2017].
- [11] F. Ricard and E. Martínez Loza, *Osteopatía y pediatría*. Editorial Médica Panamericana, 2005.
- [12] OMS, “OMS | Discapacidades,” *WHO*, 2016.
- [13] J. Borg and P.-O. Östergren, “User’s perspectives on the provision of assistive technologies in Bangladesh: awareness, providers, costs and barriers,” *Disabil. Rehabil. Assist. Technol.*, vol. 10, no. 4, pp. 301–308, Jul. 2015.
- [14] INEGI, “Clasificación de Tipo de Discapacidad -Histórica.”
- [15] C. Rosell, E. Soro-Camats, and C. Basil, *Alumnado con discapacidad motriz*. 2010.
- [16] V. Mondragón and J. Lobera, “Discapacidad motriz Guía didáctica para la inclusión en educación inicial y básica.” Consejo Nacional de Fomento Educativo (CONAFE), 2010.



- [17] N. Fejerman and E. Fernández Álvarez, *Neurología Pediátrica*, 3a Edición. Editorial Medica Panamericana, 2007.
- [18] A. L. Koman, B. Paterson Smith, and J. Shilt, “Cerebral Palsy,” *Lancet*, vol. 363, pp. 1619–1631, 2004.
- [19] E. M. Barreno, M. J. R. López, and M. J. C. Menéndez, “La parálisis cerebral como una condición dinámica del cerebro: Un estudio secuencial del desarrollo de niños hasta los 6 años de edad,” *Univ. Psychol.*, vol. 12, no. 1, pp. 119–127, 2013.
- [20] A. Hinchcliffe, *Children with cerebral palsy: a manual for therapists, parents and community workers*. SAGE Publications, 2007.
- [21] M. D. Navarro Pérez, B. Martínez Campos, and J. Ferri Campos, *Daño cerebral adquirido: guía práctica para familiares*. Fundación Instituto Valenciano de Neurorehabilitación, 2007.
- [22] ISO, “Normas ISO,” 2013. [Online]. Available: <https://www.isotools.org/normas>. [Accessed: 28-Jul-2017].
- [23] ISO, “International Organization for Standardization.” [Online]. Available: <https://www.iso.org/search/x/query/WHEELCHAIR/refine/more:standard>. [Accessed: 28-Jul-2017].
- [24] F. Gómez Sendra *et al.*, “SESIR: nuevo servicio de evaluación de sillas de ruedas,” *Rev. biomecánica*, no. 52, pp. 47–50, 2007.
- [25] OMS, *El estado físico: uso e interpretación de la antropometría*. World Health Organization, 1995.
- [26] A. A. Maldonado-Macias, R. Romero, J. J. Zapata, E. Martínez, and S. Noriega, “Desarrollo de datos antropométricos para niños con discapacidad motriz en Ciudad Juárez,” *Culcyt*, vol. 40–41, no. 40, pp. 145–153, 2010.
- [27] M. Helander, *A Guide to Human Factors and Ergonomics*, vol. 51, no. 6. Taylor & Francis Group, 2006.
- [28] A. Douglas and M. Monel, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, Octava edi. Mc Graw Hill, 2008.
- [29] R. G. Budynas and J. K. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Mc Graw Hill, 2012.
- [30] R. L. Mott, *Diseño de elementos de máquinas*, Cuarta edi. Pearson, 2006.
- [31] M. Abasolo, J. Aguirrebeitia, I. Coria, and I. Heras, *Guía práctica de elementos finitos en estática*. Paraninfo, 2017.
- [32] T. R. Chandrupatla and A. D. Belegundu, *Introducción al estudio del elemento finito en ingeniería*, Segunda ed. Pearson Prentice-Hall, 1999.

## REFERENCIAS

---

- [33] E. G. Amador Toledo, “Diseño de una Silla de Ruedas para Pacientes con Discapacidad Motriz Severa dentro del Sistema de Clasificación de la Función Motriz Gruesa Nivel 4 y 5,” 2016.
- [34] R. L. Mott, *Diseño de elementos de máquinas*. Pearson Prentice-Hall, 1995.
- [35] J. C. Molina, “Análisis estructural con elemento finitos,” 1992.
- [36] “Catálogo de productos.” Kalisch acero, 2018.

**ANEXO A**

**Cuestionario necesidades de los usuarios de sillas de ruedas con apoyo postural.**



**HOJA DE INSTRUCCIONES PARA EL ENCUESTADOR**

Esta encuesta ha sido aprobada por un comité de ética y toda la información recabada será tratada de manera confidencial

- Se le entrega al paciente el consentimiento informado y se le explica
- Si acepta se continua

¿Me permitiría que le hiciera algunas preguntas?, ¿Está de acuerdo en que la encuesta sea grabada para efectos de registro?

Gross Motor Function Classification System--Sistema de Clasificación de Función Motriz Guesa	
Nivel 1: Camina sin limitaciones	
Características	Representación
<ul style="list-style-type: none"> <li>•No utilizan dispositivos de apoyo como los son las muletas.</li> <li>•Pueden caminar en el interior y al aire libre y subir escaleras sin restricciones.</li> <li>•Pueden realizar actividades como correr y saltar.</li> <li>•Su velocidad, equilibrio y coordinación se ven limitadas.</li> </ul>	
Nivel 2: Camina con limitaciones	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• En el medio interior (como son casas, edificios, escuelas, etc.) sus actividades se ven limitadas</li> <li>• Tiene la capacidad de caminar en el su medio interior y al aire libre, puede subir escaleras con ayuda de un pasamanos</li> <li>• Tiene dificultad de movilización en superficies irregulares, pendientes y en multitudes.</li> <li>• Su discapacidad disminuye al momento de correr o saltar.</li> </ul>	
Nivel 3: Camina utilizando un dispositivo de movilidad de mano	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para moverse necesita de un dispositivo de apoyo en medio interior y en superficies planas al aire libre.</li> <li>• Puede subir escaleras utilizando un pasamanos y asistencia de un cuidador.</li> <li>• Puede impulsar una silla de ruedas manual, pero en caso de distancias largas y superficies irregulares necesita de un cuidador.</li> </ul>	
Nivel 4: Automovilidad con limitaciones; puede utilizar desde andadores hasta sillas de ruedas eléctricas.	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Su automovilidad es muy limitada, incluso con dispositivos de apoyo.</li> <li>• La mayor parte del día utiliza una silla de ruedas que puede controlar por sí mismo la silla de ruedas eléctrica.</li> </ul>	
Nivel 5: Transportado en una silla de ruedas manual	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sufren de impedimentos físicos que limitan el control voluntario del movimiento, su capacidad de mantener la posición de la cabeza y el cuello contra la gravedad es restringida.</li> <li>• Su función motora se ve gravemente afectada.</li> <li>• No puede permanecer sentado o de pie sin ayuda de un cuidador, incluso aunque cuente con un equipo.</li> <li>• No posee movilidad independiente, muy pocos pacientes poseen la facultad de maniobrar una silla de ruedas eléctrica.</li> </ul>	



NOMBRE DEL PACIENTES: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_ CUESTIONARIO REALIZADO POR: \_\_\_\_\_

INFORMACIÓN DEL PADRE O TUTOR	FICHA DE IDENTIFICACIÓN
1. Nombre(s): _____	4. Iniciales: _____ 5. Año de nacimiento: _____
2. Apellidos: _____	6. Sexo: 1. F 2. M
3. Ocupación: _____	

ANTECEDENTES PERINATALES	DIAGNÓSTICO
7. Semanas de gestación: 1. Prematuro 7.1 ¿Cuánto tiempo? _____ 2. Termino 3. Post termino 7.2 ¿Cuánto tiempo? _____	17. Institución de diagnóstico: 1. Institución pública. ¿Cuál? _____ 2. Institución privada. ¿Cuál? _____
8. Método de Parto: 1. Parto Normal 2. Cesárea	18. Municipio: _____ Entidad: _____
9. Complicaciones al Nacer: 1. Si ¿Cuáles? 1. Hipoxia 2. Otro _____ 2. No	19. Año de diagnóstico: _____
10. Lugar de Nacimiento: 1. Institución pública. ¿Cuál? _____ 2. Institución privada. ¿Cuál? _____ 3. Hogar 4. Otro. ¿Cuál? _____	20. Edad al momento del Diagnóstico: ___ AÑOS ___ MESES
11. Municipio: _____ 12. Estado: _____	21. Diagnóstico: 1. PCI (pase a la sección I) 2. LC C (pase a la sección II) 3. MMC (pase a la sección III) 4. ES (pase a la sección IV) 5. PEV (pase a la sección V) 6. Otro: _____
13. Edad de la madre al momento del parto: _____ años	22. Derechohabiencia actual: 1. IMSS 2. ISSSTE 3. Seguro Popular 4. ICHISAL 5. Otra: _____ 6. Ninguno
14. Número de partos: _____ 15. Lugar que ocupa _____	
16. Peso al Nacer: _____	

SECCIÓN I: PARÁLISIS CEREBRAL INFANTIL (PCI)		
11. Tipo	12. Distribución	13. Origen
1. Espástica	1. Monoplejía	1. Congénita
2. Atetoide	2. Paraplejía	PRENATAL: 2. Hipoxia 3 Rubeola 4. Exposición a Rx 5. Diabetes
3. Atáxica	3. Hemiplejía	PERINATAL: 6. Desprendimiento de placenta 7. Prematuridad 8. Anoxia 9. Trauma
4. Mixta	4. Triplejía	POST. NATAL: 10. Enf. Infecciosa 11. Accidente cardiovascular 12. Encefalitis
5. Flácida	5. Diplejía	13. Meningitis
6. Lo Ignora	6. Cuadriplejía	14. Otro: _____
	7. lo Ignora	15. Lo Ignora



### SECCIÓN II: LUXACIÓN CONGÉNITA DE CADERA (LCC)

II1. Daño: 1. Izquierda 2. Derecha 3. Bilateral

II2. Tipo: 1. Subluxación 2. Luxación reductible 3. Luxación irreductible 4. Lo ignora

II3. Factores Concausales: 1. Primogenidad 2. Presentación podálica 3. Herencia 4. Bajo peso al nacimiento,  
5. Embarazos múltiples 6. Asociado a otras malformaciones. 7. Ninguna

### SECCIÓN III: MIELOMENINGOCELE (MMC)

III1. TIPO: 1. Espina Bífida Oculta 2. Mielocele 3. Meningocele 4. Mielomeningocele

III2. NIVEL DE LESIÓN: 1. Torácico alto (T6-T10) 2. Torácico bajo (T10-T12) 3. Lumbar alto (L1-L2) 4. Lumbar medio (L3)  
5. Lumbar bajo (L4-L5) 6. Lo ignora

III3. ASOCIADA CON: 1. Hidrocefalia 2. Alteraciones del sistema cardíaco 3. Ninguna 4. Lo ignora 5. Deformidades  
Osteoarticulares

III4. DEFORMIDADES OSTEOARTICULARES: 1. Varo Equino 2. Talo Valgo 3. Rodillas en Extensión 4. Luxación de Cadera  
5. Cifosis 6. Escoliosis 7. Lordosis 8. Patrón Tijera

III5. COMPLICACIONES: 1. Escoriaciones 2. Ulceras de presión 3. Ninguna 4. Otra \_\_\_\_\_

III6. CONTROL DE ESFÍNTERES: 1. urinaria 2. Intestinal 3. Ambos 4. Ninguno

### SECCIÓN IV: ESCOLIOSIS (ES)

IV1. ORIGEN: 1. Neuromuscular 2. Congénita 3. Idiopática 4. Lo ignora

IV2. TIPO: 1. Funcional (por un miembro más corto) 2. Estructural (alteraciones anatómicas)

IV3. ASOCIADA A: 1. Problemas respiratorios 2. Problemas renales 3. Problemas cardíacos 4. Ninguno 5. Otro: \_\_\_\_\_

### SECCIÓN V: PIE EQUINO VARO (PEV)

V1. TIPO: 1. Pie equino 2. Pie Varo 3. Pie equino varo 4. Talo Valgo 5. Lo ignora

V2. TRATAMIENTO: 1. Si 2. No

V3. TIPO DE TRATAMIENTO: 1. Férula 2. Cirugía 3. Yeso 4. Otro \_\_\_\_\_

V4. RECIDIVA: 1. SI 2. No

### COMORBILIDADES

23. TRASTORNOS DE:

1. Movimientos oculares 2. Sensitivos y sensoriales 3. La conducta 4. Aprendizaje 5. Percepción 6. Lenguaje 7. Epilepsia  
8. Convulsiones 9. Deficiencia intelectual 10. Ninguno 11. Estrabismo 12. Otro: \_\_\_\_\_



CONDICIÓN ACTUAL DEL PACIENTE
<p>24. RECIBE ACTUALMENTE ATENCIÓN MÉDICA: 1.Si (pase a la pregunta 26) 2.No</p> <p>25. MOTIVO POR EL QUE NO RECIBE ATENCIÓN MÉDICA: 1. No tiene servicio médico 2. Su servicio médico no tiene el servicio</p> <p>3. No tiene dinero 4. No tiene tiempo Foráneo 6. Otro. _____</p> <p>26. EN DONDE RECIBE ATENCIÓN MÉDICA: Institución: _____</p> <p>27. ¿HA SIDO SOMETIDO A CIRUGÍA? 1. Si 2. No (pase a la pregunta 37)</p> <p>28. MOTIVO DE LA CIRUGÍA: _____ 29. EDAD DEL PACIENTE: _____ 30. INSTITUCIÓN: _____</p> <p>31. MOTIVO DE LA CIRUGÍA: _____ 32. EDAD DEL PACIENTE: _____ 33. INSTITUCIÓN: _____</p> <p>34. MOTIVO DE LA CIRUGÍA: _____ 35. EDAD DEL PACIENTE: _____ 36. INSTITUCIÓN: _____</p> <p>37. ¿RECIBIÓ TERAPIA DESPUÉS DE LA CIRUGÍA? 1. Si 2. No</p> <p>38. TIPO DE TERAPIA: _____ 36. LUGAR EN DONDE LA RECIBE. _____</p> <p>39. ¿ACTUALMENTE TOMA ALGÚN TIPO DE MEDICAMENTO? 1 Si 2. No</p> <p>Especifique: _____</p> <p>40. ¿REQUIERE APOYO FUNCIONAL? 1. Si 2. No</p> <p>41. APOYOS FUNCIONALES: 1. Silla de ruedas 2. Muletas 3. Andador 4. Bastón 5. Prótesis 6. Otro: _____</p> <p>42. ¿CÓMO LO CONSIGUIÓ? 1. Compra 2. Es prestado 3. Donación Especifique: _____</p> <p>43. GMFCS LEVEL: 1. I 2. II 3. III 4. IV 5. V</p> <p>44. NECESITA SILLA DE RUEDAS 1. SI 2. NO <span style="float: right;">(SI ES SI, PASAR A CUESTIONARIO DOS)</span></p>
COMENTARIOS
<div style="border: 1px solid black; height: 100px; width: 100%;"></div>



## CUESTIONARIO DOS

### CUESTIONARIO DOS- SECCION 1- INICIO

- 1.1** ¿Tiene información o sabe cómo la silla de ruedas afecta la salud a su niño? 1. Si 2. No  
Si la respuesta es SI, pase a pregunta 1.2; si la respuesta es NO pasar a pregunta 1.5
- 1.2** ¿Quién le dio la información? 1. Medico 2. Rehabilitador 3. Familiar 4. Amigo 5. Sentido Común 6. Otro \_\_\_\_\_
- 1.3.** ¿Dónde le dieron la información? 1. Lugar donde dan terapia 2. Hospital 3. Otro \_\_\_\_\_
- 1.4.** Explíqueme como la silla de ruedas afecta la salud de su niño

- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- 1.5.** ¿Tiene silla de ruedas? 1. Si 2. No  
Si la respuesta es SI, pase a pregunta 1.6; si la respuesta es NO pasar a la **SECCION 4 - PACIENTES SIN SILLAS DE RUEDAS (Página 9)**
- 1.6.** ¿Desde qué edad empezó a utilizar silla de ruedas? \_\_\_\_\_
- 1.7.** Actualmente ¿Qué marca es la silla de ruedas que utiliza? (ver/buscar la estructura de la silla) 1. Ottobock 2. Drive 3. Sunrise medical 4. Invacare 5. Rifton 6. Industrias metálicas 7. Quickie 8. Otro \_\_\_\_\_

### PREGUNTAS SOLO PARA PACIENTES QUE SI TIENEN SILLAS DE RUEDAS

- 1.8** ¿Dónde consiguió la silla de ruedas? 1. DONACION ¿Dónde? \_\_\_\_\_  
2. COMPRA ¿Dónde? \_\_\_\_\_
- NOTA** Si la silla fue adaptada/donada por el CTIB o ITESM preguntar sobre la silla anterior  
Si no tuvo una silla anterior, las preguntas son sobre la del CTIB

### SECCION 2. ACTIVIDADES DE LA VIDA DIARIA

- 2.1** ¿La silla de ruedas cumple con sus necesidades? 1. SI 2. NO  
Si la respuesta es sí, **2.1.1** Describir la silla de ruedas: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
Si la respuesta es no, **2.1.2** ¿Por qué? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 2.2** ¿Sabe que debe tener una prescripción o receta para una silla de ruedas? 1. SI 2. NO
- 2.3** ¿Recibió prescripción o receta? 1. SI 2. NO  
Si la respuesta es sí, pasar a pregunta **2.4**; si la respuesta es no pasar a pregunta **2.7**
- 2.4** ¿Quién le dio la prescripción o receta? 1. MEDICO 2. REHABILITADOR 3. EN ASOCIACION CIVIL 4. OTRO \_\_\_\_\_
- 2.5** ¿La silla de ruedas tiene las características de la prescripción o receta médica? 1. En su totalidad 2. Parcialmente 3. No. Si es parcialmente **2.5.1** ¿Que le falto? \_\_\_\_\_
- 2.6** ¿Quién la adapto? 1. Rehabilitador 2. Familiar 3. CTIB 4. Ruedas para la humanidad 5. OTRO \_\_\_\_\_
- 2.7** ¿En qué ambiente utiliza la silla de ruedas? 1. Interior 2. Exterior 3. Ambos
- 2.8** ¿En qué tipo de terreno utiliza la silla de ruedas? 1. Pavimento 2. Terracería 3. Arena 4. Otro \_\_\_\_\_



## CUESTIONARIO DOS

### CONTINUACION DE SECCION 2. ACTIVIDADES DE LA VIDA DIARIA PREGUNTAS SOLO PARA PACIENTES QUE SI TIENEN SILLAS DE RUEDAS

#### MOVILIDAD

**2.9** ¿Va a la escuela? 1. Si 2. No

Si la respuesta es No **2.9.1** ¿Por qué no asiste a la escuela? \_\_\_\_\_

**2.10** ¿Cual escuela? 1. CAM 2. ESCUELA REGULAR 3. OTRA \_\_\_\_\_

**2.11** ¿Acostumbra a salir de la casa? 1. Si 2. No

**2.12** ¿Cuántos veces a la semana salen? 1. No sale 2. 1 o 2 veces 3. 2 o 3 veces 4. 4 o 5 veces 5. 6 veces o más

**2.13** ¿A dónde sale más frecuentemente? 1. Mandado 2. Escuela 3. Consulta 4. Terapia 5. Parque 6. Centro comercial 7. Familia 8. Otro \_\_\_\_\_

**2.14** ¿Sus actividades se ven limitadas por la silla de ruedas? 1. Si 2. No

Si la respuesta es sí, **2.14.1** ¿Por que? \_\_\_\_\_

**2.15** ¿Qué tipo de transporte utiliza? 1. Automóvil (tipo de auto) \_\_\_\_\_ 2. Transporte publico 3. Transporte publico especial 4. Otro \_\_\_\_\_

#### SECCION 3. CONDICIONES DE LA SILLA DE RUEDAS

##### SOLO PARA PACIENTES CON SILLAS DE RUEDAS

**3.1** ¿Usted ha reparado la silla de ruedas? 1. Si 2. No

Si la respuesta es sí, **3.1.1** ¿Qué parte fue la que reparo? 1. Ruedas 2. Asientos 3. Descansa brazos 4. Tornillos 5. Descansapies 6. Soporte para la cabeza 7. Forro de asiento y/o respaldo 8. Otros \_\_\_\_\_

**3.2** ¿Le falta alguna parte a la silla de ruedas? 1. Si 2. No

Si la respuesta es sí, **3.2.1** ¿Cuál? 1. Tornillos 2. Tuercas 3. Descansapies 4. Frenos 5. Soporte de la cabeza 6. Tope de asiento 7. Cinturón 8. Otros \_\_\_\_\_

**3.3** ¿Cuáles son las características más importantes de la silla de ruedas para usted y el paciente? (Mencionar 5)

✓	✓
✓	✓
✓	✓

**3.4** ¿Tiene la silla de ruedas descansapies? 1. Si 2. No

Si la respuesta es sí, pasar a pregunta **3.4.1**; Si la respuesta es no, pasar a pregunta **3.4.5**

**3.4.1** El material es resistente Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

**3.4.2** Se desmontan con facilidad Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

**3.4.3** Se pueden plegar Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

**3.4.4** ¿Qué le gustaría mejorar? \_\_\_\_\_

**3.4.5** ¿Por qué no tiene descansapies? \_\_\_\_\_





## CUESTIONARIO DOS

### CONTINUACION DE SECCION 3. CONDICIONES DE LA SILLA DE RUEDAS

#### SOLO PARA PACIENTES CON SILLAS DE RUEDAS

- 3.5** ¿Cambiaría el tipo de material del asiento? 1. Si 2. No
- 3.6** El material es Transpirable: 1.Si 2. No
- 3.7** El material es Lavable: 1. Si 2. No
- 3.8** ¿Qué material preferiría? 1. Lona 2. Hule 3. Espuma 4. Memory foam 5. Tumble forms 6.Otro \_\_\_\_\_
- 3.9** Le gustaría que el asiento fuera Transpirable: 1.Si 2. No
- 3.10** Le gustaría que el asiento fuera Lavable: 1. Si 2. No
- 3.11** Alguna otra característica que le gustaría agregar \_\_\_\_\_
- 
- 3.12** ¿Qué tipo de ruedas tiene? 1. Caucho 2. Aire 3. Bicicleta 4. Hule muerto 5. Otras \_\_\_\_\_
- 3.12.1** Puede quitar las ruedas: 1. Si 2.No
- 3.12.2** ¿Le gustaría que poder quitarlas?: 1. Si 2.No
- 3.12.3** ¿Le gustaría cambiar el tamaño de las ruedas? 1. Si 2. No  
Si la respuesta es sí, **3.12.3.1** ¿A cuál? \_\_\_\_\_
- 3.12.4** ¿Le gustaría cambiar la amortiguación? 1. Si 2. No  
Si la respuesta es sí, **3.12.4.1** ¿A cuál? \_\_\_\_\_
- 3.12.5** ¿Alguna otra característica que le gustaría modificar?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 
- 3.13** ¿Qué tipo de respaldo tiene? 1. Plano 2. Reclinable 3. Ergonómico 4. Otro \_\_\_\_\_
- 3.13.1** ¿Es reclinable? 1. Si 2.No
- 3.13.2** ¿Es transpirable? 1. Si 2.No
- 3.13.3** ¿Es adaptable a la altura? 1. Si 2.No
- 3.13.4** 3.11.1 ¿Le gustaría que fuera reclinable? 1. Si 2.No
- 3.13.5** ¿Le gustaría que fuera transpirable? 1. Si 2.No
- 3.13.6** ¿Le gustaría que fuera adaptable a la altura? 1. Si 2.No
- 3.13.7** ¿Algo más que le gustaría mejorar? \_\_\_\_\_
- 
- 3.14** Su silla de ruedas tiene el soporte para la cabeza (es para sujetar la cabeza del paciente) 1. Si 2. No  
Si la respuesta es sí, pasar a la pregunta **3.14.1**; Si la respuesta es no, pasar a la pregunta **3.14.12**
- 3.14.1** ¿Son extraíbles? 1. Si 2.No
- 3.14.2** ¿Son acolchados? 1. Si 2.No
- 3.14.3** ¿Son cómodos? 1. Si 2.No
- 3.14.4** ¿Son ajustables a la altura? 1. Si 2.No
- 3.14.5** ¿Son ajustables a la posición? 1. Si 2.No
- 3.14.6** ¿Le gustaría que fueran extraíbles? 1. Si 2.No
- 3.14.7** ¿Le gustaría que fueran acolchados? 1. Si 2.No
- 3.14.8** ¿Le gustaría que fueran cómodos? 1. Si 2.No
- 3.14.9** ¿Le gustaría que fueran ajustables a la altura? 1. Si 2.No
- 3.14.10** ¿Le gustaría que fueran ajustables a la posición? 1. Si 2.No
- 3.14.11** ¿Qué le gustaría mejorar? \_\_\_\_\_
- 
- 3.14.12** ¿Por qué no tiene soporte para la cabeza? \_\_\_\_\_



## CUESTIONARIO DOS

### CONTINUACION DE SECCION 3. CONDICIONES DE LA SILLA DE RUEDAS

#### SOLO PARA PACIENTES CON SILLAS DE RUEDAS

**3.15** ¿Su silla de ruedas tiene descansabrazos? 1. Si 2. No

Si la respuesta es sí, pasar a la pregunta **3.15.1**; si la respuesta es NO, pasar a la pregunta **3.15.11**

**3.15.1** ¿Son ajustables a la altura? 1. Si 2. No

**3.15.2** ¿Son ajustables a la posición? 1. Si 2. No

**3.15.3** ¿Se pueden quitar? 1. Si 2.No

**3.15.4** ¿Son cómodos? 1. Si 2. No

**3.15.5** ¿Le gustaría que fueran extraíbles? 1. Si 2.No

**3.15.6** ¿Le gustaría que fueran acolchados? 1. Si 2.No

**3.15.7** ¿Le gustaría que fueran cómodos? 1. Si 2.No

**3.15.8** ¿Le gustaría que fueran ajustables a la altura? 1. Si 2.No

**3.15.9** ¿Le gustaría que fueran ajustables a la posición? 1. Si 2.No

**3.15.10** ¿Qué le gustaría mejorar? \_\_\_\_\_

**3.15.11** ¿Por qué no tiene descansabrazos? \_\_\_\_\_

**3.16** ¿Su silla tiene frenos? 1. Si 2. No

Si la respuesta es Sí, pasar a pregunta **3.16.1**, si la repuesta es No, pasar a la pregunta **3.16.2**

**3.16.1** ¿La silla de ruedas se mueve aun cuando tiene los frenos puestos? 1. Si 2. No

**3.16.2** ¿Por qué no tiene frenos la silla de ruedas? \_\_\_\_\_

**3.16.3** ¿Alguna característica que le gustaría mejorar de los frenos? \_\_\_\_\_

**3.17** Del 1 (Como Excelente) al 5 (Como Pésimo), ¿Cómo califica cada parte de la silla de ruedas?

**3.17.1** Asiento 1. Excelente 2. Bueno 3. Regular 4. Malo 5. Pésimo

**3.17.2** Zona lumbar (Riñones) 1. Excelente 2. Bueno 3. Regular 4. Malo 5. Pésimo

**3.17.3** Zona cervical (Cuello) 1. Excelente 2. Bueno 3. Regular 4. Malo 5. Pésimo

**3.17.4** Descansapiés 1. Excelente 2. Bueno 3. Regular 4. Malo 5. Pésimo

**3.17.5** Descansabrazos 1. Excelente 2. Bueno 3. Regular 4. Malo 5. Pésimo

**3.17.6** Soporte para la cabeza 1. Excelente 2. Bueno 3. Regular 4. Malo 5. Pésimo

**3.18** ¿Qué le gustaría mejorar o cambiar de la silla de ruedas? \_\_\_\_\_

**3.19** Ordene del 1 al 5 la característica que Ud. Considere más importante en una silla de ruedas, considerando 1 como lo más importante, 2 como la segunda prioridad, 3 como lo tercero más importante, así consecutivamente hasta 5.

**3.19.1** Comodidad \_\_\_\_\_

**3.19.2** Ligera de peso \_\_\_\_\_

**3.19.3** Plegable \_\_\_\_\_

**3.19.4** Reclinable \_\_\_\_\_

**3.19.5** Fácil de ajustar \_\_\_\_\_

**3.20** ¿Alguna otra característica que Ud. Considere importante? \_\_\_\_\_

## CUESTIONARIO DOS

NOTA: SI EL PACIENTE TIENE SILLA DE RUEDAS, PASAR A SECCION 5. DATOS ECONÓMICOS

### ESTA SECCION ES SOLO PARA PACIENTES QUE NO TIENEN SILLAS DE RUEDAS SECCION 4 - PACIENTES SIN SILLAS DE RUEDAS

4. ¿por qué no tiene silla de ruedas? 1. Por falta de dinero 2. No sabe dónde conseguir una silla de ruedas 3. No es funcional 4. No lo cree necesario 5. Otra \_\_\_\_\_

#### Movilidad (Preguntas para pacientes sin silla de ruedas)

4.1 ¿Va a la escuela? 1. Si 2. No

Si la respuesta es no 4.1.1 ¿Por qué? \_\_\_\_\_

4.2 ¿Cuál escuela? 1. CAM 2. ESCUELA NORMAL 3. OTRA \_\_\_\_\_

4.3 ¿Acostumbra a salir de la casa? 1. SI 2. NO

4.4 ¿Cuántas veces a la semana salen? 1. NO SALE 2. 1 O 2 VECES 2. 2 o 3 VECES 3. 4 O 5 VECES 4. 6 Veces o mas

4.5 ¿A dónde sale más frecuentemente? 1. MANDADO 2. ESCUELA 3. CONSULTA 4. TERAPIA 5. PARQUE 6. CENTRO COMERCIAL 7. FAMILIA 8. OTRO \_\_\_\_\_

4.6 ¿Sus actividades se ven limitadas por no tener silla de ruedas? 1. SI 2. NO

SI LA RESPUES ES SI, 4.6.1 ¿Por qué? 1. SE CANSA DE CARGARLO 2. NO TIENE MANERA DE TRANSPORTARLO 3. OTRO \_\_\_\_\_

4.7 ¿Cómo transporta al paciente? 1. BRAZOS 2. CARREOLA 3. OTRO \_\_\_\_\_

4.8 ¿Qué tipo de transporte utiliza? 1. Automóvil (tipo de auto) \_\_\_\_\_ 2. Transporte público 3. Transporte público especial 4. Otro \_\_\_\_\_

PASAR A SECCION 5. DATOS ECONÓMICOS

### SECCIÓN 5. DATOS ECONÓMICOS

(Ahora se le harán unas preguntas acerca sobre sus datos económicos, esto con el fin de saber en qué rango de precios sería lo más viable para diseñar la silla de ruedas.)

5.1 La vivienda que habita es: 1. Propia 2. Rentada 3. Prestada 4. Otra \_\_\_\_\_

5.2 ¿Con que bienes cuenta su vivienda? (Puede ser más de una opción)

- |                              |                               |
|------------------------------|-------------------------------|
| 1. Televisión                | 6. Licuadora                  |
| 2. Teléfono                  | 7. Horno de microondas        |
| 3. Aparato de sonido (Radio) | 8. Tanque de gas estacionario |
| 4. DVD                       | 9. Cocina integral            |
| 5. Televisión por cable      | 10. Computadora               |

5.3. ¿Cuántas personas habitan normalmente en su vivienda? \_\_\_\_\_

5.4. ¿Qué número de cuartos se usan para dormir? \_\_\_\_\_

5.5. ¿La silla puede moverse fácilmente por su hogar? 1. Si 2. No

Si la respuesta es no, 5.5.1 1. La silla no cabe en la estructura 2. Otro



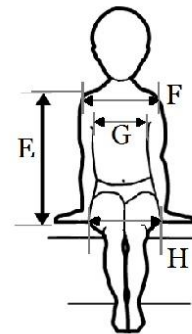
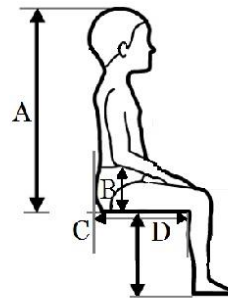
**CUESTIONARIO DOS**

**SECCIÓN 6. INGRESO DEL HOGAR**

- 6.1** En promedio ¿Cuál es el ingreso mensual total de su hogar? (en pesos)
- |                     |                     |                       |
|---------------------|---------------------|-----------------------|
| 1. Menos de 1,000   | 4. De 3,000 a 3,999 | 7. De 7,000 a 9,999   |
| 2. De 1,000 a 1,999 | 5. De 4,000 a 4,999 | 8. De 10,000 a 14,999 |
| 3. De 2,000 a 2,999 | 6. De 5,000 a 6,999 | 9. De 15,000 o más    |
- 6.2** ¿Cuántas personas contribuyen a generar este ingreso? \_\_\_\_\_
- 6.3** ¿Cuántas personas dependen de este ingreso? \_\_\_\_\_
- 6.4** ¿Cuánto podría pagar por una silla que cubriera todas o la mayoría de sus necesidades? 1. Menos de 10,000 M.N.  
2. Entre 10,000 M.N. y 15,000 M.N. 3. Entre 15,000 M.N. y 20,000 M.N 4. Entre 20,000 M.N. y 25,000 M.N  
5. Más de 25,000 M.N.
- 6.5** ¿Me permite tomar medidas? 1. SI 2. NO

**SECCIÓN 7: MEDIDAS PARA SILLA DE RUEDAS**

Comentarios de sección de medidas: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



Escala:  Centímetros  Pulgadas

		A	Parte Superior de la cabeza	
Der.	lzq.	B	Codo al asiento	Altura del descansabrazos
Der.	lzq.	C	Parte superior de la pierna	Esta medida debe ser desde la parte posterior del asiento a la corva de la rodilla. La corva de la rodilla debe estar a dos dedos de distancia del asiento. Largo del asiento.
Der.	lzq.	D	Parte Inferior de la pierna	Desde la corva de la rodilla hasta la planta del pie
Der.	lzq.	E	Altura a hombro	
		F	Ancho de los hombros	Ancho del respaldo
		G	Ancho del pecho	Distancia entre soportes torácicos
		H	Ancho de la cadera	Ancho del Asiento
		I	Preguntar número que calza	



## ANEXO C

Datos antropométricos obtenidos en proyecto “Diseño de una Silla de Ruedas para Pacientes con Discapacidad Motriz Severa dentro del Sistema de Clasificación de la Función Motriz Gruesa Nivel 4 y 5”

A	B der	B izq.	C der	C izq.	D der	D izq.	Eder	E izq.	F	G	H	I
64.1	13	11.5	38.7	40.5	41.6	39.2	43.6	41.4	33.2	28.6	37.9	22
66.0	31.1	31.6	37.7	38.9	42.0	40.6	42.2	42.3	30.5	25.4	37.7	21
75.7	12	13.5	43	43	38	38	44	45	33.4	25.2	41.3	24
60.3	13.7	18.0	24.0	26.0	25.0	24.2	36.3	34.0	18.7	16.0	19.0	12
56.1	11.1	12.8	33.4	31.7	29.3	29	30.8	29.5	24.8	17.6	25.4	15
60.3	13.0	7.2	26.5	34.0	30.4	32.1	39.4	37.0	28.0	23.5	25.4	20
57.1	21.4	23.6	36.8	34.6	37.9	33.3	46.6	43.8	32.4	30.8	34.4	19
80.0	21.3	17.4	37.6	29.1	39.0	44.0	43.0	45.0	44.3	36.6	35.4	24
67.5	38.0	28.7	34.2	36.7	29.5	38.0	48.0	44.5	30.5	26.2	32.3	19
29.4	7.6	5.7	28.4	30.5	32.4	27.6	29	32.2	25	24.2	24.4	15
62.2	10.5	16.1	36.3	35.9	38.4	38	37.5	38.7	28.8	25.6	34.3	17
62.7	15.6	13.9	21.2	27.2	30.3	29.5	28.2	34.1	24.4	18.5	27.2	13
65.2	18.5	19.5	35.7	36.5	40.0	39.4	39.6	45.5	29.6	23.7	33.3	20
47.0		19.6	22.0	25.6	20.1	24.5	33.0	30.3	24.6	26.2	27.1	20
78.6	22.4	10.0	35.5	34.8	42.9	40.0	60.4	54.6	33.6	32.2	37.5	19
62.1	20.6	17.3	34.9	36.1	40.1	38.5	38.2	40.6	28.1	30.1	34.5	19
40.5	10.7	9.5	22.0	21.2	23.0	23.4	26.1	24.4	18.1	16.9	21.8	13
65.1	18.5	21.8	30.8	30.5	33.3	31.1	39.8	40.9	25.3	22.3	31.4	17
65.4	9.2	14.6	33.3	33.7	34.9	37.7	35.2	42.6	28.3	21.6	34.5	17
53.4	17.4	17	29.2	27.5	28.9	27	34.4	34	26.4	22.6	34.4	15
54.5	20.4	28.8	28.4	28.7	30.1	28.6	36.5	39.4	21.4	19.4	26.5	12
64.2	18.3	12.1	37.5	40.8	38.4	40.8	42.3	40.1	25.2	22.7	26.5	22
53.3	10.9	10.1	33.2	32.3	33.8	37.2	33.2	34.3	23.7	21.1	29.9	17
45.3	7.9	8.4	25.3	23.7	28.0	26.2			22.6	19.6	26.9	12
68.3	10.2	14.4	39.5	39.5	41.5	41.5	47.3	47.3	29.3	27.4	30.6	
68.2	9.0	10.0	39.0	42.0	44.0	45.5	45.0	48.0	32.5	21.0	26.0	26.0
56.0	11.0	11.0	33.0	30.0	33.0	30.0	34.0	33.0	24.0	21.0	23.0	15

A	Parte Superior de la cabeza
B	Codo al asiento
C	Parte superior de la pierna
D	Parte inferior de la pierna
E	Altura a hombro
F	Ancho de los hombros
G	Ancho del pecho
H	Ancho de la cadera
I	Preguntar número que calza
21	Profundidad del tórax
34	Anchura de la cabeza
7	Altura codo
8	Altura Codo Flexionado
9	Altura Muñeca

A	B der	B izq.	C der	C izq.	D der	D izq.	E der	E izq.	F	G	H	I
64.0	15.0	19.0	27.5	29.0	37.0	39.0	39.0	44.5	31.0	23.5	26.0	25
65.0	13.0	19.0	31.5	32	40.0	40.0	37.0	37.7	25.0	22.5	24	
53.5	14.0	17.0	30.5	33.0	33.5	35.7	34.6	36.5	24.4	19.8	23.3	19
67.0	6.0	7.0	36.0	40.0	38.5	40.5	40.0	39.0	28.0	22.0	24.0	
59.0	10.0	7.0	35.5	36.0	40.0	35.0	33.5	34.5	27.0	20.5	24.5	19
68.3	54.6	51.0	36.4	35.5	35.4	36.7	50.4	49.4	24.5	29.0	39.5	19
52.2	27.7	23.7	31.5	34.7	30.1	30.1	37.5	38.5	29.5	26.8	27.8	28
62.6				28.5		38.2	40.0	48.0	31.0	30.0	34.0	18
69			18.8	33.9	27.2	30.2	45.5	49.0	26.3	22.7	33.4	18
54.6	3.0	8.4	33.0	30.0	30.5	32.0			26.9	24.4	21.8	13.0
55.3	20.1	21.7	29.4	28.3	30.9	31.8	35.9	34.8	26.8	24.6	34.8	22
71.2	12.2	12.3	35.6	36.7	42.0	43.0	46.7	48.7	32.8	25.0	32.6	2
56.0	14.0	12.0	25.0	25.0	24.0	25.0	31.0		26.0	26.0	21.0	17
85.6	23.8	16.8	41.2	40.2	47.0	46.5	57.3	51.9	39.3	36.6	46.4	5
50.2	14.8	18.5	24.4	24.2	21.9	26	26.8	34.5	24.5	23.2	26.3	15
58.0		11.0	28.0	28.0		30.0		34.0	32.0	24.0		
62.0	9.0	1.11	37.0	33.0	39.0	37.0	44.0	40.0	30.0	22.0	19.0	5
64.4	13	12.2	27.4	34.6	38	39	37.7	39.6	28	23.5	22.6	20