



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTA DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL

DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CAPAZ DE SUBIR Y BAJAR ESCALERAS

MODALIDAD DE TITULACIÓN

TESIS Y EXAMEN PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A

ROBERTO TONATIUH ECHEVESTE MUCIÑO

DIRECTOR DE TESIS: ANTONIO ZEPEDA SÁNCHEZ

LUGAR Y FECHA DE PUBLICACIÓN
MÉXICO D.F A 12 DE MARZO DEL 2015



Agradecimientos

- A mi madre, porque me diste todo, sin pedirme nada. A ti que dejaste todo por mí, a ti que entregaste todo por mí, gracias mamá. Gracias mamá por todo lo que me has dado. Gracias por traerme al mundo, alimentarme, cuidarme y tatar de hacerme una persona de bien. Gracias por lo que me enseñaste y el amor que siempre me entregas. Gracias mamá por tu amor, paciencia y comprensión. Gracias por el apoyo ilimitado e incondicional que siempre me has dado, por tener siempre la fortaleza de salir adelante sin importar los obstáculos, por haberme formado como un hombre de bien ,y por ser la mujer que me dio la vida y me enseñó a vivirla. No hay palabras en este mundo para agradecerte, mamá. Gracias a ti mamá, soy una persona muy feliz y realizada.
- A mi padre, gracias a ti he podido lograr y alcanzar muchas metas, gracias a lo cual ahora soy muy feliz. Gracias por ser un buen padre, por los consejos tan sabios con los que siempre me has guiado. Gracias por haberme dado tu inteligencia y compartido tus experiencias, siempre he sabido que has luchado para darme lo mejor que has podido, por eso de esta manera hoy te lo agradezco con este trabajo.
- A mi hermano, por contar con su apoyo en todo momento y con su cariño. Espero que esto te sirva de ejemplo para seguir adelante, ya que quiero ser una mejor persona cada día para ser una guía para ti.
- A mi tía Irene, gracias porque nunca dudaste de mí capacidad y siempre me incentivaste a seguir adelante. Por demostrarme que siempre puedo contar con tu apoyo y comprensión.
- A mi tío Carlos, por el cariño y apoyo moral que siempre me has dado y con el cual he logrado culminar mi esfuerzo, terminando así mi carrera profesional.
- A mi tío Jorge, que me ha dado su apoyo incondicional en todo lo que he necesitado, por todo su afecto y apoyo lo largo de mi vida.
- A mi tío Alfonso, por el apoyo y cariño brindado a mi familia y a mí, por apoyarme en lo que su alcance ha podido y por creer en los proyectos que eh realizado.
- A mis primos, por darme tantos momentos memorables, divertidos y agradables, por compartir conmigo las diferentes etapas de mi vida y por ser grandes amigos, casi hermanos.

- A Gloria, por estar a mi lado todos estos años y compartir este sueño junto, por todas las experiencias vividas y por las que nos faltan vivir. Gracias por el apoyo incondicional que me has dado durante todos estos años.
- A Joel, porque eres una persona que comparte los mismos sueños y metas, y gracias a esto, pudimos hacer una empresa juntos. Por todos los consejos y experiencias que hemos vivido juntos.
- A Francisco, porque eres un amigo incondicional en el que siempre puedo confiar, siempre compartiendo metas y sueños, y logrando todo lo que nos proponemos.
- A mi profesor Antonio Zepeda, por el apoyo brindado durante mi carrera y por la orientación brindada para lograr este trabajo.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| Introducción..... | 2 |
| Antecedentes..... | 3 |
| Capítulo 1. La silla de ruedas | |
| 1.1 Elementos de la silla de ruedas..... | 9 |
| 1.2 Materiales utilizados en diferentes sillas de ruedas comerciales..... | 16 |
| 1.3 Sillas de ruedas adaptadas para subir escaleras..... | 17 |
| 1.4 Dispositivos para librar obstáculos utilizados en las sillas de ruedas modificadas..... | 23 |
| 1.5 Comparación de estructuras de las carriolas y las sillas de ruedas..... | 25 |
| Capítulo 2. Reconocimiento de la necesidad y el problema | |
| 2.1 Desarrollo de las especificaciones..... | 26 |
| Capítulo 3. Diseño conceptual de una silla de ruedas | |
| 3.1 Descomposición física de una silla de ruedas..... | 45 |
| 3.2 Diagrama de caja negra de la silla de ruedas..... | 46 |
| 3.3 Diagrama morfológico para el problema de la silla de ruedas que sube escaleras..... | 46 |
| 3.4 Propuestas seleccionadas..... | 65 |
| Capítulo 4. Diseño de configuración de la silla de ruedas | |
| 4.1 Estructura..... | 66 |
| 4.2 Asiento y respaldo acojinados..... | 71 |
| 4.3 Ruedas..... | 72 |
| 4.4 Oruga y palanca..... | 73 |
| 4.5 Propuesta de configuración final de la silla de ruedas..... | 75 |
| 4.6 Componentes de la silla de ruedas..... | 76 |
| 4.7 Diagrama explosivo de la silla de ruedas..... | 77 |
| 4.8 Principio de funcionamiento de la silla de ruedas..... | 78 |

OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es proponer una posible solución al problema de movilidad que tienen las personas con alguna discapacidad (las cuales están obligadas a utilizar una silla de ruedas), con el diseño conceptual de una silla de ruedas capaz de subir y bajar escaleras, facilitando al usuario una mayor independencia y elevar su calidad de vida.

INTRODUCCIÓN

Las personas con discapacidad tienen necesidades específicas y diversas, según sea el tipo de discapacidad o limitación funcional a la que se enfrenten.

Por lo general se toma como algo natural el poder moverse dentro de la casa y en la comunidad, pero si un integrante de la familia tiene una discapacidad, hasta el más pequeño escalón puede ser un obstáculo que le impide vivir plenamente la vida. La movilidad es indiscutiblemente un componente esencial de la libertad y la dignidad del ser humano y una de las claves de la independencia de las personas.

El tema de la discapacidad ha cobrado un significativo incremento de atención por parte de los profesionales y la sociedad en su conjunto en los últimos años. La problemática, dificultades y barreras que enfrentan las personas con discapacidad han sido expuestas y analizadas públicamente y cada vez son más las personas, instituciones y asociaciones que se incorporan a la tarea de mejorar las condiciones de vida y bienestar personal de este grupo poblacional.

El objetivo del presente trabajo es proponer una solución al problema que tienen las personas con alguna discapacidad (las cuales están obligadas a utilizar una silla de ruedas), con el diseño conceptual de una silla de ruedas capaz de subir y bajar escaleras, facilitando al usuario una mayor independencia y elevar su calidad de vida. Este tipo de diseño está orientado a personas con una edad de entre 18 y 30 años ya que en este periodo de tiempo es cuando el cuerpo humano está en plenitud para desarrollar cualquier tipo de actividad física (Welford, 2015), además de que, el diseño está orientado a personas que solo tienen problemas de movilidad en sus piernas.

En el primer capítulo se abordará el estado del arte de las sillas de ruedas, observando las características, funcionamiento de las sillas de ruedas modificadas, así como también, los elementos y materiales que la componen. Posteriormente en el segundo y tercer capítulo se plantearán las necesidades y el problema a resolver que se busca solucionar con el presente trabajo, con esto se proseguirá al diseño conceptual de la silla de ruedas que será capaz de subir y bajar escaleras. Por último, en el cuarto capítulo se presentará el diseño de configuración de la silla de ruedas, esto es, la propuesta final de la silla.

ANTECEDENTES

El problema de caminar o moverse hace referencia a la dificultad de una persona para moverse, caminar, desplazarse o subir escaleras debido a la falta de toda o una parte de sus piernas; incluyendo también a quienes teniendo sus piernas no tienen movimiento o presentan restricciones para moverse, de tal forma que necesitan ayuda de otras personas, silla de ruedas u otros aparatos.

Las sillas de ruedas son un medio de transporte importante por una parte significativa de la sociedad. Datos del INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) reportan en 2010 que 5 millones 739 mil 270 personas tienen algún tipo de discapacidad, lo cual representa el 5.1% de la población. Según la ENIGH (Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares) de 2012, 6.6 % de la población del país reporta tener una discapacidad. El principal tipo de discapacidad es ese mismo año, es la dificultad para caminar, que representa el 57.5% de las personas que tienen alguna discapacidad.

Manuales o motorizadas, las sillas de ruedas proporcionan un grado de independencia importante para quienes se ayudan de estas. Sin embargo, este grado de independencia puede limitarse cuando se requiere que la silla de ruedas supere obstáculos.

Mucho se ha trabajado en el campo de las sillas de ruedas. Sin embargo, todavía hay una necesidad de una silla de ruedas que pueda ser accionada manualmente por el usuario para que él mismo pueda subir escaleras sin necesidad de la ayuda de un tercero, de manera autónoma.

El presente trabajo propone el diseño de una silla de ruedas capaz de subir escaleras de manera totalmente mecánica, brindándole al usuario un grado de independencia importante en su estilo de vida.

Este tipo de diseño se propone a personas con una edad de entre 18 y 30 años, en este periodo de tiempo es cuando el cuerpo humano está en plenitud para desarrollar cualquier tipo de actividad física, además de que, el diseño está orientado a personas que solo tienen problemas de movilidad en sus piernas.

ESTADO DEL ARTE

Evolución de la silla de ruedas



Fig. i.1 [1]

Carruajes

Primeros dispositivos nacidos gracias a la invención de la rueda (Mesopotamia, Egipto 2000 a 1500 a.C aprox.)



Fig. i.2 [1]

Niño en cama con ruedas

Primer registro de la combinación de mobiliario y ruedas. (Grecia, 530 a.C)



Fig. i.3 [1]

Representación más antigua de una silla de ruedas

Grabada en piedra en un sarcófago chino. (China, 525 d.C)



Fig. i.4 [1]

Silla de ruedas con apoyapiés

El rey Felipe II de España usaba una silla de ruedas con apoyabrazos y apoyapiés móviles. Construida sobre una estructura de tres ruedas, ya que tenía manivelas unidas a las ruedas delanteras. (España, 1595)

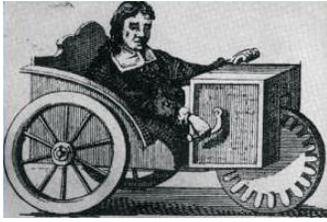


Fig. i.5 [1]

Silla de ruedas autopulsada

Stephen Farfler paraplégico y de oficio relojero construye su propia silla que le facilita la movilidad independiente. (Alemania, 1655)

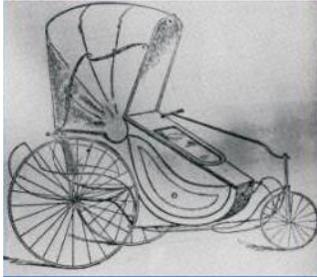


Fig. i.6 [1]

Silla Bath

Inventada por John Dawson. Domina el mercado del siglo XIX y consta de dos ruedas grandes y una pequeña. (Inglaterra, 1783)



Fig. i.7 [1]

Primera silla motorizada

En 1900 la historia de las sillas de ruedas registra las primeras ruedas con rayos que se utilizan. En 1912 la primera silla motorizada tenía un motor de 1 hp y $\frac{3}{4}$ hp en un triciclo para minusválidos. El diseño de esta silla se le atribuye a George Klein. (Inglaterra, siglo XVIII)

Pequeñas modificaciones siglo XVIII y XIX

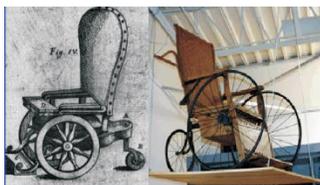


Fig. i.8 [1]

La silla de ruedas es convertible con espaldar reclinable y apoyapiés ajustables. Los marcos fijos son de madera, los asientos de mimbre firmes y las ruedas radiadas y grandes con las que se auto propulsa el usuario. Gran parte del desarrollo se da gracias a las consecuencias de la Guerra Civil en U.S y de la Primera Guerra Mundial.

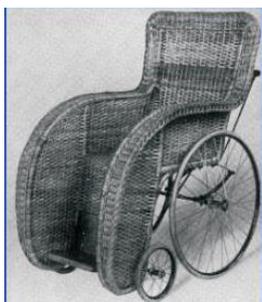


Fig. i.9 [1]

Reducción de peso

Hecha de mimbre Indio, con ruedas grandes adelante o atrás. Reduce el peso de las antiguas sillas a 58 libras con aros de empuje y 50 libras sin los mismos. (Inglaterra, siglo XIX)

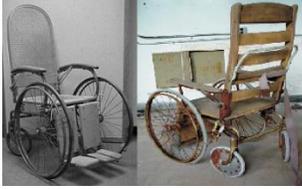


Fig. i.10 [1]

Cambios y aportes de la bicicleta

Las ruedas pasan de madera a hierro (1867) y luego a llantas de caucho (1875). Se añaden los aros de empuje (1881). Se adoptan rayos de alambre (1900).



Fig. i.11 [1]

Primera silla de ruedas que se dobla

Herbert A. Everest, un ingeniero minero discapacitado y el ingeniero mecánico H.C. Jennings se unen para fabricar la primera silla de ruedas metálica que se pudiera doblar para meter a un automóvil. El diseño original de esta primera silla plegable se sigue utilizando a día de hoy en sillas básicas por todo el planeta, por supuesto con algunas mejoras.



Fig. i.12 [2]

Primera silla de ruedas motorizada

Desarrollada por Everest y Jennings, siguiendo el desarrollo de motores con control por transistor. (50'S y 60'S)



Fig. i.13 [3]

Deportes impulsan desarrollo

Primeros juegos en silla de ruedas (Inglaterra 52), primeros paralímpicos (Japón 64). Se da la revolución en el peso ligero de las sillas manuales generada por las necesidades y deseos de los atletas. (70'S y 80'S)



Fig. i.14 [1]

Mejoras en el control

Se desarrollan las sillas de ruedas motorizadas controladas por micro-controladores, permitiendo la personalización de los controles para ajustarse a las necesidades de más usuarios. (80´S)



Fig. i.15 [1]

Revolución en el diseño

Mejoras de control, estilos, rangos o distancias de viaje, suspensión, maniobrabilidad, asientos, entre otras opciones para los usuarios. (90´S)

Siglo XXI

En la actualidad lo que se busca es que las sillas de ruedas proporcionen movilidad en entornos difíciles de acceder para personas con ciertas discapacidades, como subir escaleras sin ayuda de otra persona, realizar paseos por lugares de difícil acceso; como campos, terrenos rocosos etc., logrando elevar su calidad de vida. A continuación se muestran 4 ejemplos claros de sillas de ruedas que sirven para ayudar al usuario a moverse en terrenos difíciles.



Fig. i.16 Silla de ruedas Genny 2.0 Urban [4]

Silla ecológica y funciona con batería. Es completamente inalámbrico y avanza de manera intuitiva en la dirección que le marca el tronco del usuario



Fig. i.17 Silla de ruedasCaterpillar [5]

Silla reclinable que permite adaptarse a diversas formas para descender de distintas superficies



Fig. i.18 Silla de ruedas Ted [6]

Silla de ruedas todo terreno



Fig. i.19 Silla de ruedas Neptune Amphibious [7]

Silla de ruedas flotante que posibilita tanto el movimiento por la playa como la entrada en el agua a personas de reducida movilidad

Las sillas de ruedas existen desde hace décadas. Los materiales modernos y la innovación durante estos últimos años, permitieron la creación de silla de ruedas prácticas, ligeras y portátiles que se utilizan hoy en día. La utilización de las adaptaciones técnicas para lograr la independencia funcional de las personas con movilidad reducida está cobrando un enorme auge en la actualidad. Con esto se observa que existe una necesidad de crear una silla de ruedas que ayude a las personas a obtener un mayor grado de independencia y libertad de movimiento en su vida diaria.

CAPÍTULO 1. LA SILLA DE RUEDAS

1.1 ELEMENTOS DE LA SILLA DE RUEDAS

Para poder elegir correctamente una silla de ruedas adecuada a las necesidades de su usuario, es importantes conocer la extensa gama de posibilidades que existen en los distintos componentes de una silla de ruedas (fig. 1).

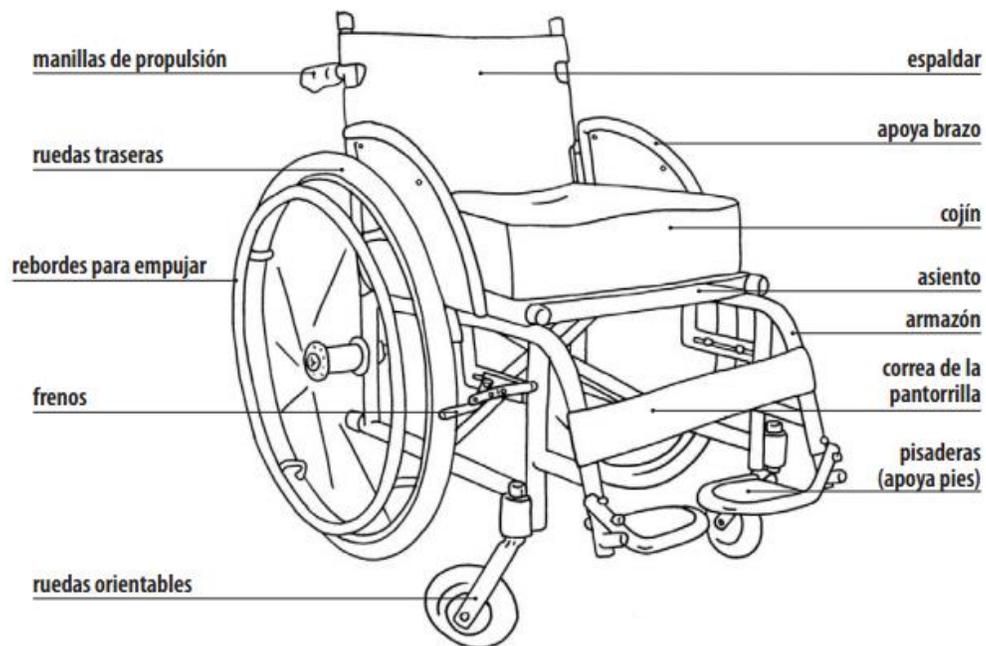


Fig. 1 Ejemplo de una silla de ruedas manual y sus piezas [8]

Como partes claves de una silla de ruedas, se analizarán los distintos tipos de estructuras, ruedas, frenos, reposapiés y reposabrazos, y las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos.

ESTRUCTURA

La estructura de una silla de ruedas puede ser rígida (fija), o plegable. El aprovechamiento de la energía que el usuario aplica para propulsarse es del doble en una silla con armazón rígido (se aprovecha 15-20% del impulso), que en una plegable (aprovecha 5 - 8% del impulso). Esto es debido a que en una silla plegable parte de la energía de propulsión se pierde en el movimiento de su estructura por los puntos de articulación. Otras ventajas que presenta el armazón rígido es que resulta fácil de manejar y es algo más ligero que uno similar plegable. Sin embargo la silla plegable resulta en general más cómoda de transportar y guardar al ocupar menos espacio plegada.



Fig. 1.1 Estructura rígida [9]



Fig. 1.2 Estructura plegable [10]

La composición del armazón es un factor clave en la funcionalidad de la silla. El acero siendo el más habitual, es el más pesado pero también el más barato. Una silla con armazón de aluminio es mucho más ligera y por lo tanto fácil de propulsar, pero también más cara. También se pueden encontrar armazones realizados en materiales ligeros como titanio y fibra de carbono. Para darse una idea del peso y el precio que pueden tener las estructuras usando este tipo de materiales, en la tabla 1.1 se hace la comparación de varias sillas de ruedas existentes en el mercado.

| Modelo | Silla de ruedas | Material | Peso | Precio |
|--------------------|---|------------------|---------|-------------|
| Celta Rp |  | Acero | 18 kg | \$2 844.40 |
| Dromos |  | Aluminio | 14.8 kg | \$6 784..05 |
| TiLite Zra Serie 2 |  | Titanio | 5.2 kg | \$55 498.50 |
| Panthera X |  | Fibra de Carbono | 4.2 kg | \$86 705.17 |

Tabla 1.1 Sillas de ruedas comerciales y algunas de sus características. Datos obtenidos de: www.sci-geriatria.com

RUEDAS DELANTERAS

Existen de diferentes tamaños y materiales, así como inflables o macizas, dependiendo del uso que se le vayan a dar se debe tomar en cuenta lo siguiente: entre más pequeñas sean las ruedas delanteras, tendrán menor rozamiento y mayor facilidad de giro, siendo adecuadas para interiores. Así por ejemplo, las de 75 mm y 125 mm se recomiendan en sillas para deportes en pista, como el baloncesto y en sillas activas. Como punto negativo, se enganchan en obstáculos e irregularidades del terreno con facilidad.

Las ruedas grandes son más recomendables para exteriores, y suelo accidentados, ya que resulta más fácil salvar obstáculos y no se clavan en el terreno. Sus desventajas son que el mayor rozamiento dificulta la maniobrabilidad y su mayor tamaño aumenta el radio de giro.



Fig. 1.3 Tipos de ruedas [11]

Siempre que se varía el tamaño de la rueda delantera, es necesario ajustar la horquilla. El eje de giro de la horquilla debe de estar siempre a 90° con el suelo. En gamas bajas, la horquilla no suele ser ajustable.

Las ruedas con diámetro menor a 125mm (5 ") suelen ser sólidas, por encima de este tamaño se suelen escoger entre sólidas (sin mantenimiento, poca amortiguación) o cubierta y cámara inflable (mejor amortiguación, pero mayor mantenimiento debido a las posibles pinchaduras que puedan tener las ruedas).

RUEDAS TRASERAS

Sobre las ruedas traseras se deben conocer los siguientes detalles:

- Tamaño
- Tipo de cubierta
- Composición de la llanta
- El aro

Tamaño

La rueda trasera más habitual es la de 600 mm de diámetro (24"). Se utilizan ruedas más pequeñas de 22" (550mm) o 20" (500mm) en sillas de niños, para personas con limitación del movimiento en los hombros o para hemipléjicos, para que puedan llegar al suelo y propulsarse con el pie. La rueda más pequeña permite aplicar menor esfuerzo para propulsarla, pero también requiere mayor número de impulsos. Las ruedas de 650 mm (26") se utilizan para personas muy altas y para deportes.

Cubiertas

1. Macizas: ofrecen menor resistencia al rodar, y no requieren mantenimiento, pero son más pesadas y de conducción más dura al no amortiguar los accidentes del terreno. Presentan peor agarre en superficies mojadas.
2. Inserto sólido: Son un intermedio entre las macizas y las neumáticas. Están compuestas de una cubierta normal con un macizo insertado dentro de esta, no requieren mantenimiento, presentan mejor agarre que las macizas en superficies mojadas, aunque no amortiguan tanto como las neumáticas y pesan más que éstas.
3. Neumáticas: Son de conducción más cómoda porque amortiguan los accidentes del terreno y presentan un buen agarre en la mayoría de las superficies. Son las más ligeras. Como inconveniente requieren de más fuerza para propulsarlas al ser más blandas y necesitan de un mayor mantenimiento.
4. Tubulares: Ligeros y con mínima resistencia a la rodadura. Inconvenientes: Poca resistencia a pinchaduras y elevado mantenimiento. Se utilizan para sillas de deporte en pista como el baloncesto.



Fig. 1.4 Varios tipos de cubiertas [12]

Llantas

1. Llantas de plástico: apenas requieren mantenimiento, pero pesan más que las ruedas de rayos.
2. Llantas de rayos de aluminio: son más ligeras que las de plástico, y absorben mejor las rugosidades del terreno. Los rayos cruzados ofrecen un entramado más fuerte.
3. Llantas de otros materiales: Materiales como fibra de carbono o titanio se utilizan en llantas más especializadas, por ejemplo, para el deporte, ya que dan mayor rigidez, resistencia y disminuyen el peso de las llantas.



Fig. 1.5 Llanta de plástico, de aluminio y de fibra de carbono [13]

Aros

Pueden ser de aluminio, acero (que es más pesado pero resbala menos), titanio (muy ligeros), o recubiertos de plástico. Además del material, existen aros con proyecciones para facilitar el agarre por parte de personas con poca movilidad en las manos, así como aros con formas ergonómicas y partes recubiertas de otros materiales para aumentar el agarre. Las proyecciones se pueden adquirir por separado y ser instaladas en un aro standard.



Fig. 1.6 Aro con proyecciones y aro especial Tetra [14]

FRENOS

- Frenos con zapata: los más comunes son los de montaje alto (se anclan al tubo que queda por debajo del asiento), y pueden ser de dos tipos, según se activen empujando hacia delante o tirando hacia atrás. Estos frenos pueden llevar alargadores para facilitar su uso.
- Frenos de tijera: más ligeros y que quedan escondidos cuando están en reposo, facilitando las transferencias, normalmente se ven en sillas activas / ultraligeras.



Fig. 1.7 Freno de zapata, de zapata con prolongador y de tijera [15]

REPOSABRAZOS

- Fijos: son parte de la estructura de la silla y no pueden retirarse
- Desmontables o abatibles hacia atrás: pueden ser retirados
- Regulables en altura: permiten ajustes más precisos
- Tipo escritorio: rebajados en su parte delantera para permitir el acceso a mesas
- Tubulares: pesan menos pero tienen una superficie de apoyo inferior



Fig. 1.9 Extraíble y ajustable en altura [16]



Fig. 1.10 Reposabrazos tubular [17]

REPOSAPIES

Pueden ser fijos o desmontables. Para acortar la longitud de la silla en espacios reducidos como ascensores, es mejor que sean desmontables. Si no hay problemas de espacio es aconsejable que los reposapiés sean fijos debido a su mayor robustez. La posición anatómica ideal de los reposapiés es a 90° . Sin embargo en adultos los pies pueden interferir con el giro de las horquillas delanteras, por lo que el ángulo se tiende a reducir. Los ángulos más frecuentes son de 80° , 70° y 60° .

Existen asimismo reposapiés elevables. Éstos elevan el conjunto de la pierna, para adoptar posturas más cómodas. Se utilizan mucho en sillas con respaldo reclinable y sillas pasivas.

Las plataformas de reposapiés son normalmente de composite u otros materiales como el aluminio. Pueden ser dobles o bien una plataforma única, con o sin cintas taloneras. Normalmente el ángulo entre el reposapiés y las plataformas es de 90° , pero hay plataformas que tienen la posibilidad de regular este ángulo, para adaptarse a necesidades concretas de algunos usuarios.



Fig. 1.11 Reposapiés fijo de paleta única [18]



Fig. 1.12 Reposapiés extraíble standard [19]



Fig. 1.13 Reposapiés Elevable [20]

ASIENTO

Suelen ser de un tejido fuerte pero que permite el plegado de la silla, se fijan a la estructura de la silla mediante tornillos u otros sistemas, en algunos modelos podemos regular la tensión de la tela del asiento.

Sobre la tela del asiento se puede colocar un cojín anti escaras que minimice las presiones excesivas. Hay cojines de espuma, de gel, de celdas de aire, etc.



Fig. 1.14 Asiento de una silla de ruedas [21]

RESPALDO

De construcción similar al asiento, una tela relativamente tensa que se fija a la estructura de la silla, (en este caso a los tubos del respaldo), nos sirve de apoyo. Es recomendable que el respaldo sea regulable en tensión, son mucho más cómodos, ya que ajustamos la tensión del respaldo por medio de unas tiras interiores que permiten tensar o destensar zonas concretas.



Fig. 1.15 Respaldo de una silla de ruedas [22]

1.2 MATERIALES UTILIZADOS EN DIFERENTES SILLAS DE RUEDAS COMERCIALES

Para poder ajustar correctamente una silla de ruedas a las necesidades de su usuario, es importante conocer la extensa gama de posibilidades que existen en los distintos materiales de los componentes de las sillas de ruedas comerciales (tabla 1.1).

| MATERIALES | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------|----------|--------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------|---------|------------|-----------------|---------------|----------|----------|-------------|
| SILLA | EMPUÑADURAS | RESPALDO | REPOSABRAZOS | NEUMÁTICOS | AROS PROPULSORES | RAYOS | RUEDAS DELANTERAS | ESTRUCTURA | COJÍN | REPOSAPIES | BUCLE DEL TALÓN | REPOSAPIERNAS | EJE | CRUCETAS | CASTER FORK |
| A | Plástico | Nylon | Nylon | Caucho sintético | Acero | Acero inoxidable | Goma Maciza | Acero | Cordura | Aluminio | Nylon | - | Acero | Acero | Acero |
| B | Plástico | Nylon | - | Caucho sintético | Aluminio | Aluminio | Neumáticas | Aluminio | Cordura | Aluminio | - | - | Aluminio | Aluminio | Aluminio |
| C | - | Plástico | - | Caucho sintético | Acero | Acero Inoxidable | Neumáticas | Acero | Cordura | Acero | - | - | Acero | - | Acero |
| D | Aluminio | Tela | Plástico | Caucho sintético | - | - | Neumáticas | Aluminio | Tela | Tela | - | Tela | Aluminio | - | - |

Tabla 1.2 Materiales utilizados en sillas de ruedas comerciales

A. Silla MED Modelo 124 Estándar (usada en el ámbito médico)



B. Voyager Evo (usada para deportes)



C. Silla todo terreno TED (usada para terrenos difíciles de acceder)



D. Amphibious Chair (usada para poder acceder al mar)

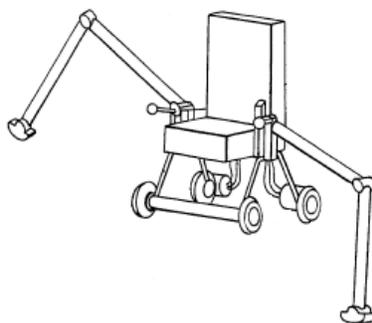


1.3 SILLAS DE RUEDAS ADAPTADAS PARA SUBIR ESCALERAS

Para este estudio se han seleccionado ejemplos de patentes existentes, en el ámbito de sillas de ruedas capaces de superar escalones. En esta muestra hay patentes representantes de todas las posibles soluciones diseñadas hasta el momento.

SISTEMA DE MOVILIDAD DE ADAPTACIÓN

Un sistema de movilidad con ruedas, tales como una silla de ruedas, después de haber articulado miembros para proporcionar una fuerza de tracción entre el sistema de movilidad y una superficie. Las extremidades articuladas proporcionan fuerzas de locomotoras de tracción en condiciones anormales de funcionamiento en el que la locomoción sobre ruedas es inhibida por un obstáculo o similares.



Número de la patente: US5513716

Fecha de publicación: 7/Mayo/1996

Fig. 1.16 Sistema de movilidad de adaptación. Estados Unidos.

SILLA DE RUEDAS IMPULSADA MANUALMENTE

Silla de ruedas impulsada manualmente que es plegable y puede ser accionado por palancas en una dirección hacia delante en una primera, segunda y tercera (o más) la velocidad, así como en una dirección inversa, y se proporciona con una condición neutra o de rueda libre y frenos de disco.



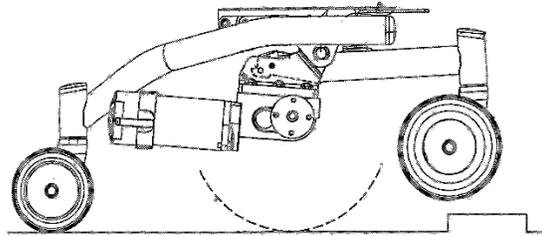
Número de la patente: US7520519 B2

Fecha de publicación: 21/Abril/2009

Fig. 1.17 Sistema de movilidad de adaptación. Estados Unidos.

SUSPENSIÓN DE SILLA DE RUEDAS CON MONTAJE DE PIVOTAMIENTO DEL MOTOR

Suspensión para un transporte tal como, por ejemplo, una silla de ruedas, que es capaz de franquear obstáculos y terreno abrupto. La suspensión tiene un elemento de chasis y un conjunto pivotante. El conjunto pivotante tiene un brazo de pivotamiento y un conjunto motriz.



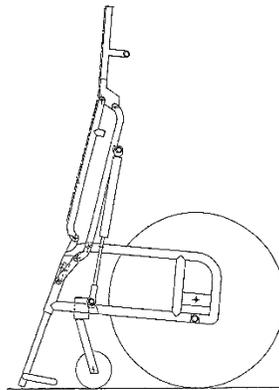
Número de la patente: ES2372479T3

Fecha de publicación: 20/Enero/2012

Fig. 1.18 Suspensión de silla de ruedas con montaje de pivotamiento del motor. España.

SILLA DE RUEDAS QUE SE LEVANTA

Silla de ruedas que se levanta (silla bipedestadora), comprende un bastidor de ruedas y un bastidor que se levanta, estando dicho bastidor que se levanta conectado a la porción delantera del bastidor de ruedas y comprendiendo un soporte de asiento con un asiento, un soporte de respaldo con un respaldo y medios para mantener el respaldo vertical en la posición de sentado así como la posición de en pie del usuario.



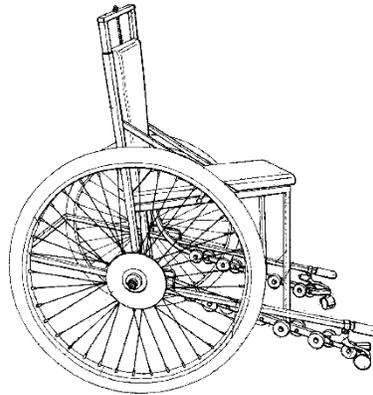
Número de la patente: ES2284913T3

Fecha de publicación: 16/Noviembre/2007

Fig. 1.19 Silla de ruedas que se levanta. España

SILLA DE RUEDAS CON MECANISMO PARA SUBIR ESCALONES

Silla de ruedas con mecanismo para subir escalones, cuyas ruedas mayores se acoplan a una estructura vertical móvil regulable, capaz de elevarlas respecto del asiento; que cuenta con una segunda estructura de palanca igualmente vinculada a las ruedas mayores, con un travesaño trasero posterior y dos brazos laterales con empuñaduras y con frenos, la cual se puede desplazar para que sobresalga o no del perímetro de las ruedas, sirviendo de apoyo sobre los escalones a subir o bajar.



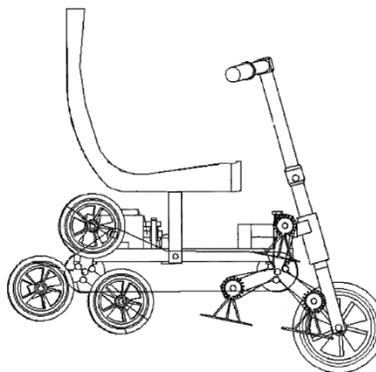
Número de la patente: WO2013093156A1

Fecha de publicación: 27/Junio/2013

Fig. 1.20 Silla de ruedas con mecanismo para subir escalones.

SILLA DE RUEDAS CON DISPOSITIVO PARA SUBIR ESCALERAS

Dispositivo para subir escaleras y una silla de ruedas con el dispositivo para subir escaleras. El dispositivo de subir escaleras comprende un soporte, un grupo de soportes para los pies al subir escaleras y un dispositivo anti-interferencias.



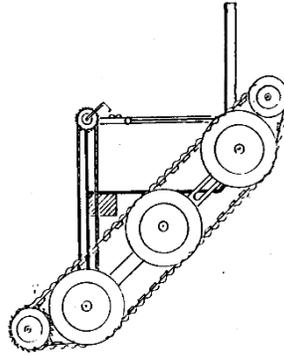
Número de la patente: CN102805695

Fecha de publicación: 05/Diciembre/2012

Fig. 1.21 Silla de ruedas con dispositivo para subir escalones. China

DISPOSITIVO DE ORUGA

Se trata del dispositivo principal y más extendido en materia de superación de obstáculos, tanto en sillas de ruedas como vehículos militares o vehículos lunares por ejemplo. El mecanismo se basa en una cinta dentada, cuyo recorrido es cerrado formando un lazo que se desliza sobre una superficie propulsada por rodillos dentados o adherentes. Generalmente los rodillos o ruedas motores son los situados en los extremos de la cinta, teniendo generalmente otros rodillos intermedios que sirven de apoyo del vehículo y dan consistencia a la cinta para poder mantenerse recta y no deformarse en exceso en el paso de obstáculos.



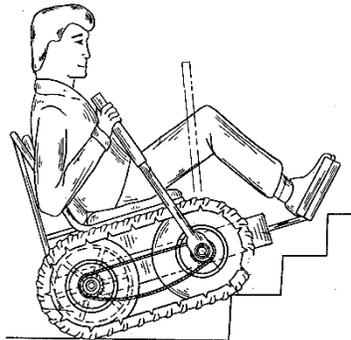
Número de la patente: CN2461518Y

Fecha de publicación: 28/Noviembre/2001

Fig. 1.22 Dispositivo de oruga. China

SILLA DE RUEDAS TODO TERRENO

Una silla de ruedas todo terreno que comprende un bastidor que tiene un par de ruedas montado de manera giratoria en cada lado de la misma con un asiento montado en el bastidor entre las ruedas. Cada par de las ruedas está interconectado operativamente de modo que la rotación de una rueda del par de ruedas hará que ambas ruedas giren. Un brazo de trinquete está conectado operativamente a cada una de las ruedas delanteras de manera que el operador puede impulsar la silla de ruedas. Una oruga flexible opcional también se proporciona para cada par de ruedas.



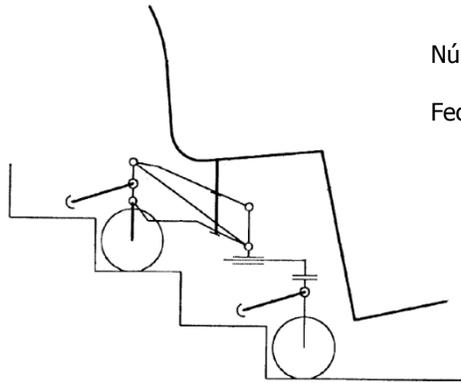
Número de la patente: US5020818A

Fecha de publicación: 04/Junio/1991

Fig. 1.23 Silla de ruedas todo terreno. Estados Unidos

SILLA DE RUEDAS SUBE ESCALERAS CON APOYO EN LAS RUEDAS

Silla de ruedas para superar peldaños, salientes y escaleras con una carrocería que tiene cuatro ruedas las cuales cuentan con brazos para poder subir los obstáculos, los cuales están montados de forma pivotante en los lados de la carrocería de la silla.



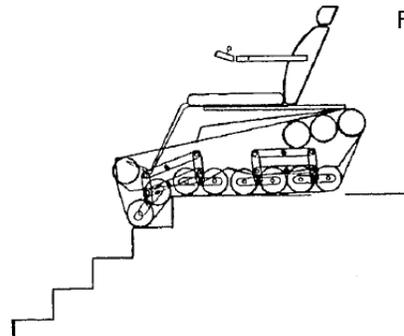
Número de la patente: US6328120B1

Fecha de publicación: 11/Diciembre/2001

Fig. 1.24 Silla de ruedas sube escaleras con apoyo en las ruedas. Estados Unidos

SILLA DE RUEDAS QUE SUBE ESCALERAS CON DISPOSITIVO PARA MANTENER LA POSICIÓN HORIZONTAL DEL USUARIO

Este tipo de silla incluye una base para soportar una plataforma para ser mantenida en una orientación generalmente horizontal. El mecanismo se eleva automáticamente y baja la plataforma cuando el vehículo está descendiendo o subiendo, con el fin de mantener la plataforma en la orientación generalmente horizontal.



Número de la patente: US5577567

Fecha de publicación: 26/Noviembre/1996

Fig. 1.25 Silla de ruedas sube escaleras. Estados Unidos

SILLA DE RUEDAS CON SISTEMA NEUMÁTICO

Silla de ruedas adaptada para subir y bajar escaleras mediante la utilización de un sistema neumático con un asiento dispuesto sobre un bastidor móvil, un juego de pilas para la alimentación de motores de accionamiento coordinado de las ruedas y un sistema de dirección para el control de la parada de los grupos de ruedas.

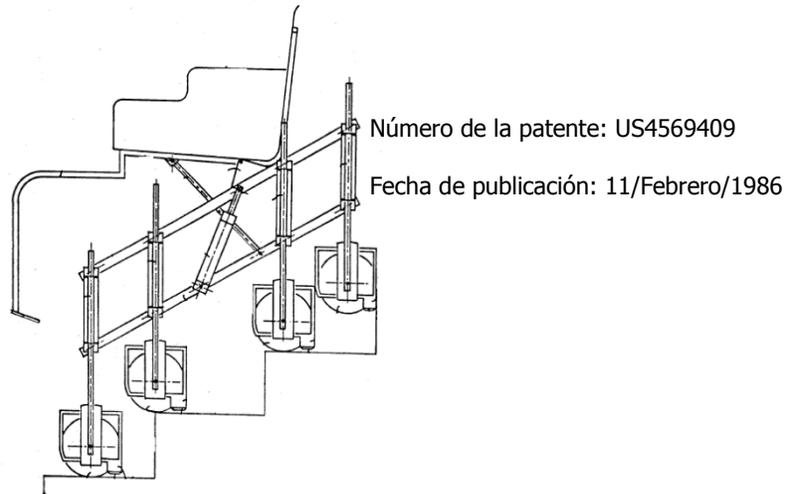


Fig. 1.26 Silla de ruedas con sistema neumático. Estados Unidos

TRANSMISIONES DE TRACCIÓN MANUAL POR MANIVELA

Silla de ruedas que incorpora un sistema de tracción manual similares al de una bicicleta, un sistema de manivela manual, que se correspondería con los pedales de una bicicleta.



Fig. 1.27 Tracción manual desde manivela. China

1.4 DISPOSITIVOS PARA LIBRAR OBSTÁCULOS UTILIZADOS EN LAS SILLAS DE RUEDAS MODIFICADAS

En la tabla 1.3 y 1.4 se pueden observar los diferentes tipos de dispositivos utilizados en las sillas de ruedas modificadas del capítulo anterior y las similitudes de funcionamiento que tienen entre ellas.

| PATENTE | DISPOSITIVOS | | | | | | | | | |
|----------------|--------------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|--|
| | Oruga | Transmisión manual por palancas | Transmisión manual desde las ruedas | Conjunto pivotante | Sistema neumático | Sistema de extremidades | Elevación de silla en vertical | Sistema de 3 ruedas traseras | Articulaciones en las ruedas | Regulador de posición horizontal del asiento |
| US5513716 | | | | | | ✓ | | | | |
| US7520519 B2 | | ✓ | ✓ | | | | | | | |
| ES2372479T3 | | | | ✓ | ✓ | | | | | |
| ES2284913T3 | | | | | ✓ | | ✓ | | | |
| WO2013093156A1 | | ✓ | | | | | | | | |
| CN102805695 | | | ✓ | | | | | ✓ | | |
| CN2461518Y | ✓ | ✓ | | | | | | | | |
| US5020818A | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | |
| US6328120B1 | | | | | ✓ | | | | ✓ | |
| US5577567 | ✓ | | | | ✓ | | | | | ✓ |
| US4569409 | | | | | ✓ | | | | | ✓ |
| CN102204858A | ✓ | ✓ | | | | | | | | |

Tabla 1.3 Dispositivo utilizados en sillas de ruedas modificadas

| <i>PATENTE</i> | <i>SILLA CAPAZ DE SUBIR ESCALERAS Y SUPERAR OBSTÁCULOS</i> | <i>DISPOSITIVO PARA IMPULSAR LA SILLA CON MAYOR FACILIDAD MANUALMENTE A NIVEL DE SUELO</i> | <i>DISPOSITIVO QUE SE ACOPLA A LA SILLA PARA QUE PUEDA SUBIR ESCALERAS</i> |
|-----------------------|--|--|--|
| <i>US5513716</i> | ✓ | - | - |
| <i>US7520519 B2</i> | - | ✓ | - |
| <i>ES2372479T3</i> | ✓ | - | - |
| <i>WO2013093156A1</i> | - | - | ✓ |
| <i>CN102805695</i> | - | ✓ | ✓ |
| <i>CN2461518Y</i> | ✓ | - | - |
| <i>US5020818A</i> | ✓ | ✓ | - |
| <i>US6328120B1</i> | ✓ | - | - |
| <i>US5577567</i> | ✓ | - | - |
| <i>US4569409</i> | ✓ | - | - |
| <i>CN102204858A</i> | ✓ | ✓ | - |

Tabla 1.4 Funcionamiento de las sillas de ruedas modificadas

En la actualidad las sillas de ruedas modificadas pueden mejorarse en los siguientes aspectos:

1. Estructura
2. Control de velocidad
3. Control de suspensión
4. Superación de obstáculos
4. Navegación asistida

Con los datos de la tabla anterior se observa que los mecanismos más utilizados en las sillas de ruedas modificadas para lograr superar obstáculos y subir escaleras son la oruga, la transmisión manual por palancas y un sistema neumático que logre estabilizar la silla.

1.5 COMPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE LAS CARRIOLAS Y LAS SILLAS DE RUEDAS.

A continuación se hace una comparación de las estructuras utilizadas en carriolas y sillas de ruedas (fig. 1.28), ya que comparten el mismo funcionamiento.

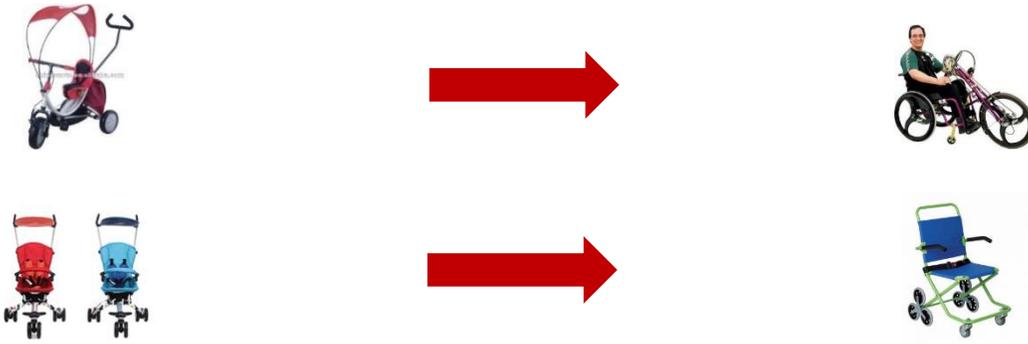


Fig. 1.28 Comparación de carriolas con silla de ruedas

El funcionamiento de la estructura de la carriola es:

- Sostener a una persona pequeña
- Estructura plegable
- Desmontables para facilitar el lavado y mantenimiento
- Diferentes posiciones en el respaldo de la silla
- Materiales más utilizados: plásticos, aceros, aluminios

El funcionamiento de la estructura de la silla de ruedas es:

- Sostener a una persona de diferente talla y peso
- Estructura plegable o rígida
- No se desmonta
- Una única posición en el respaldo
- Materiales más utilizados: plásticos, aceros, aluminios

Tomando en cuenta el funcionamiento de la estructura de la silla de ruedas y la carriola, se determina que una silla de ruedas podría ser ligera y plegable como las carriolas, para facilitar su transporte y almacenaje.

Con esto, se concluye que se puede tomar como apoyo la carriola para diseñar la estructura de la silla de ruedas, ya que la función de las dos es la misma (sostener a una persona) y se usan materiales similares en la construcción de éstas.

CAPÍTULO 2. RECONOCIMIENTO DE LA NECESIDAD Y EL PROBLEMA

La necesidad de un producto se puede ver desde diferentes enfoques; desde la necesidad que surge en la vida cotidiana, hasta la necesidad de generar necesidad.

La necesidad de una silla de ruedas que sea capaz de ayudar al usuario a subir y bajar escaleras, surge de la búsqueda de lograr una mayor independencia para hacer ciertas acciones que son muy frecuentes en su día a día. Un ejemplo de estas acciones es el subir y bajar escaleras, ya que una persona en silla de ruedas para subir o bajar escalones, necesita la ayuda de por lo menos 3 personas para lograr superar este tipo de obstáculos.

El problema a solucionar con este trabajo es facilitarle a este tipo de personas el ascenso y descenso de escaleras, esto se pretende lograr con el diseño conceptual de una silla de ruedas la cual, ayudará al usuario a bajar o subir escaleras sin la necesidad de que alguna persona lo tenga que auxiliar.

2.1 DESARROLLO DE LAS ESPECIFICACIONES

Escaleras

Basado en las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones, en la sección “Normas Técnicas Complementarias para el Proyecto Arquitectónico”, capítulo 4 “Comunicación, evacuación y funcionamiento”, del reglamento de construcciones para el Distrito Federal pág. 248-251, se menciona que:

En el diseño y en la construcción de los elementos de comunicación se debe cumplir con las disposiciones que se establecen en este capítulo, y en su caso, con lo dispuesto en las Normas Oficiales Mexicanas: NOM-026-STPS, “Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías” y NOM-001-SSA “Que establece los requisitos arquitectónicos para facilitar el acceso, tránsito y permanencia de las personas con discapacidad a los establecimientos de atención médica del Sistema Nacional de Salud”.

En la sección 4.1.3 del capítulo 4, “Comunicación, evacuación y funcionamiento”, se dan las dimensiones mínimas de las escaleras las cuales se muestran a continuación:

| Tipo de edificación | Tipo de escalera | Ancho mínimo (en metros) |
|--|--|---------------------------------|
| HABITACIONAL | | |
| Vivienda unifamiliar y plurifamiliar Residencias colectivas | Privada o interior con muro en un solo costado | 0.75 |
| | Privada o interior confinada entre dos muros | 0.90 |
| | Común a dos o más viviendas | 0.90 |
| COMERCIAL | | |
| Almacenamiento y abasto | | |
| Mercados público | | |
| Tiendas de productos básicos | Hacia tapanco similar | 0.60 |
| Tiendas de especialidades | Para público | 0.90 |
| Tiendas de autoservicio | Para público (hasta 250m ²) | 0.90 |
| Tiendas de departamentos y centros comerciales y de servicios | Para público (hasta 250m ²) | 1.20 |
| Agencias y talleres de reparación de vehículos | Para público | 0.90 |
| Veta de combustibles y explosivos | | |
| SERVICIOS | | |
| Administración | | |
| Bancos, casa de bolsa y casas de cambio | Para público | 1.20 |
| Oficinas privadas y públicas | Para público hasta 5 niveles | 0.90 |
| | Para público más de 5 niveles | 1.20 |
| Tiendas de servicios y baños públicos | Para público | 0.90 |
| Hospitales y centros de salud | | |
| Atención médica o dental a usuarios externos | Para público | 0.90 |
| Atención a pacientes internos | En las que se pueden transportar camillas | 1.20 |
| | En descansos, en donde gire la camilla | 1.80 |
| Servicios médicos de urgencia (públicos y privados) | En descansos, en donde gira la camilla | 1.80 |
| Asistencia animal | Áreas de trabajo | 0.90 |
| Educación, Exhibiciones y centros de información | | |
| Atención y educación preescolar | En zonas de aulas y salones | 1.20 |
| Educación formal básica y media | Pasillos interiores | 0.90 |
| Educación formal y media superior y superior, y educación informal | | |
| Instituciones de investigación | | |
| Museos y exhibiciones | Para público | 1.20 |
| Centros de información | Para público | 1.20 |
| Alojamiento | | |
| Hoteles y moteles | Para público en zona de habitaciones | 1.20 |
| Casa de huéspedes | | |
| Albergues turísticos juveniles | Para público | 0.90 |
| Policía y bomberos | | |

| | | |
|---|---|------|
| | Para uso de internos | 1.20 |
| Funerarios | | |
| Agencias funerarias | En donde se puedan transportar los féretros | 1.20 |
| Cementerios | | |
| Cementerios y Mausoleos | los descansos en donde gire el féretro | 1.80 |
| Transportes y comunicaciones | | |
| Estacionamientos privados y públicos, incluyendo encierros de vehículos | Para público | 1.20 |
| Sitios, paraderos y estaciones de transferencia de autobuses urbanos y suburbanos, microbuses, trolebuses y tranvías | Para público | 1.50 |
| Terminales de autobuses foráneos | | |
| Estaciones de sistema de transporte colectivo | | |
| Terminales Ferroviarias | | |
| Embarcaderos | Para público | 1.20 |
| Aeropuertos y helipuertos | | |
| Comunicaciones | | |
| INDUSTRIAL | | |
| Para todo tipo de industria | Para público | 0.90 |
| INFRAESTRUCTURA | | |
| Infraestructura | Para público | 0.90 |
| ESPACIOS ABIERTOS | | |
| | Para público | 1.20 |

Tabla 2.1 Tipos de escaleras, Reglamento de construcción para el distrito federal, pág. 250 Normas Técnica Complementarias de Construcciones

Condiciones complementarias de esta tabla

- I. En las edificaciones de uso público en donde las escaleras constituyen el único medio de comunicación entre los pisos, deben estar adaptadas por su uso por personas con discapacidad y de la tercera edad. Para ello las escaleras deben cumplir al menos con las siguientes especificaciones: barandal con pasamanos en ambos lados, cambio de textura en piso en el arranque y a la llegada de la escalera, pisos firmes y antiderrapantes y contraste entre huellas y peraltes;
- II. Las escaleras y escalinatas contarán con un máximo de 15 peraltes entre descansos;
- III. El ancho de los descansos debe ser igual o mayor a la anchura reglamentaria de la escalera;
- IV. La huella de los escalones tendrá un ancho mínimo de 0.25 m; la huella se medirá entre las proyecciones verticales de dos narices contiguas;
- V. El peralte de los escalones tendrá un máximo de 0.18 m y un mínimo de 0.10 m excepto en escaleras de servicio de uso limitado, en cuyo caso el peralte podrá ser hasta de 0.20 m;

- VI. Las medidas de los escalones deben cumplir con las siguientes relaciones: “dos peraltes más una huella sumarán cuando menos 0.61 m pero no más de 0.65 m”;
- VII. En cada tramo de escaleras, huella y peraltes conservarán siempre las mismas dimensiones;
- VIII. Todas las escaleras deben contar con barandales en por lo menos en uno de sus lados, a una altura de 0.90 m medidos a partir de la nariz del escalón y diseñados de manera que impidan el paso a niños a través de ellos, sin menoscabo de lo establecido en la fracción I;
- IX. Las escaleras ubicadas en cubos cerrados en edificaciones de cinco niveles o más tendrán puertas hacia los vestíbulos en cada nivel, con las dimensiones y demás requisitos que se establecen en el punto 4.1.1 relativo a puertas de estas Normas;
- X. Las escaleras de caracol se permitirán solamente para comunicar locales de servicio y deben tener un diámetro mínimo de 1.20 m. Se permitirán escaleras de caracol en el interior de viviendas, siempre y cuando tengan un diámetro mínimo de 1.80 m; y
- XI. Las escaleras de tramos de trazo curvo o compensadas deben tener una huella mínima de 0.25 m medida a 0.40 m del barandal del lado interior con un peralte de los escalones de un máximo de 0.18 m y una anchura mínima de las escaleras de 0.90 m.

Con lo anterior se puede concluir que el tipo de escaleras en la cual se va a basar el trabajo para que el prototipo de una nueva silla de ruedas pueda subir y bajar escaleras es:

Escalera con peralte de 0.15 m y huella de 0.33 m, con una pendiente de 24° y un ancho de 1.50 m para el libre tránsito de personas y silla de ruedas.

Dimensiones básicas de la silla de ruedas

Para obtener las medidas ideales de una silla de ruedas, este trabajo se apoyará en la normatividad para “Las sillas de ruedas en estacionamientos y banquetas”, la cual se encuentra en el Artículo 17 de las Disposiciones Generales del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, página 29.

Normatividad para las sillas de ruedas en estacionamientos y banquetas:

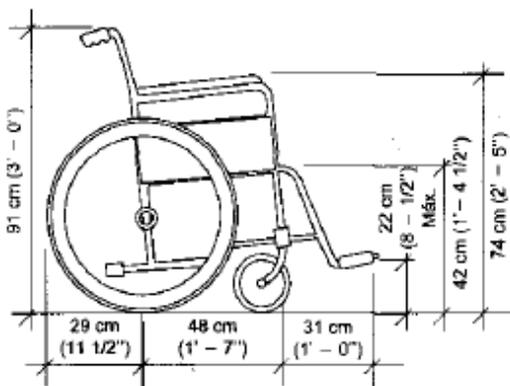
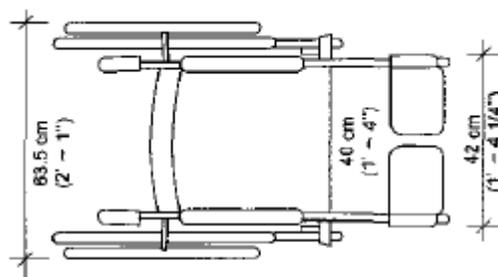


Fig. 2.1 Normas técnicas para las sillas de ruedas



Mínimo 1.50 m para el ancho de la banqueta. La pendiente no será mayor de 5%. No hacer las pendientes para bajar en la esquina.

Fig. 2.2 Anchos mínimos

Alcance

El alcance es fundamental, ya que todo debe ser accesible para el usuario. A continuación se observan los movimientos fundamentales de una persona en silla de ruedas, y las medidas mínimas que deben tener los espacios públicos para que la persona en silla de ruedas se pueda mover con facilidad, sin la ayuda de ninguna persona.

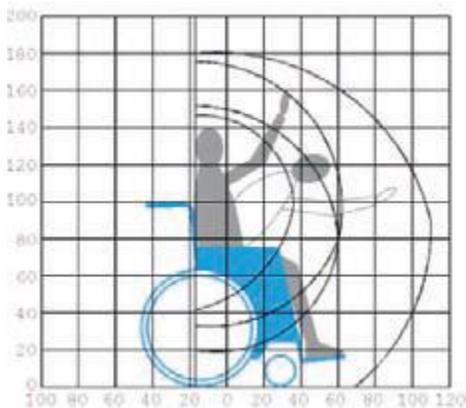


Fig. 2.3 Vista de Planta [23]

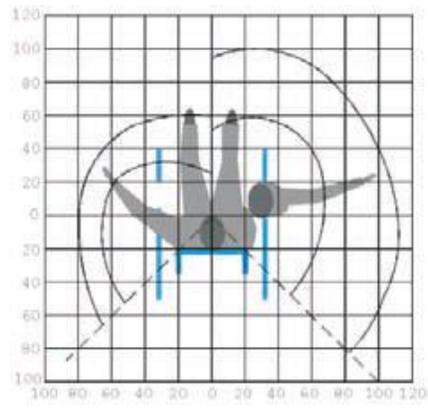


Fig. 2.4 Vista Superior [23]

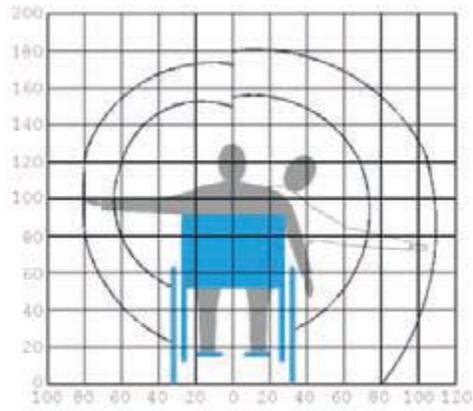


Fig. 2.5 Vista posterior [23]

Comparación de movimiento de manos entre una persona erguida y una persona en silla de ruedas

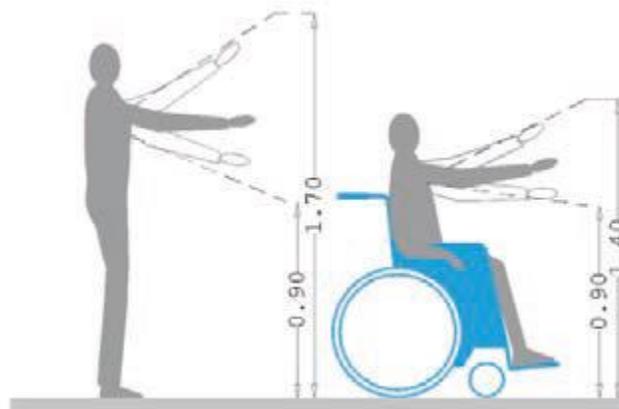


Fig. 2.6 Alcance frontal [23]

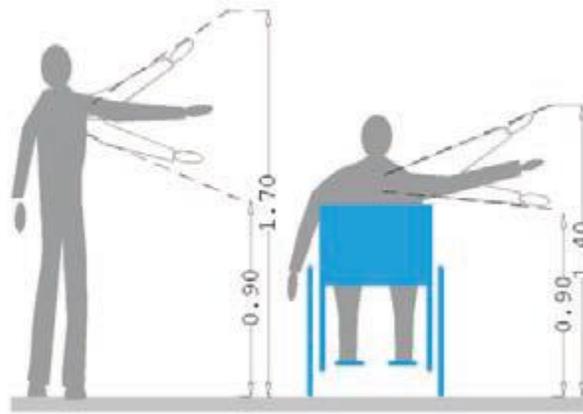


Fig. 2.7 Alcance lateral [23]

Visibilidad que tiene una persona en silla de ruedas, comparándola con la visibilidad que tiene una persona que esta de pie.

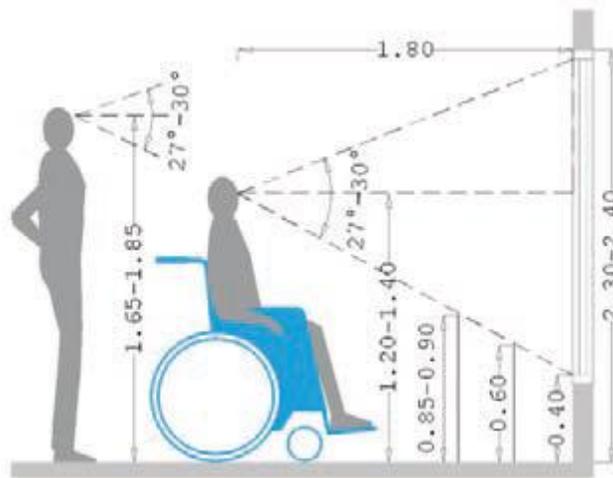


Fig. 2.8 Visibilidad [23]

Desplazamientos

1. Giros

Medidas mínimas en espacios, para que una persona en silla de ruedas, sin la necesidad de ayuda, pueda girar sin ningún problema.

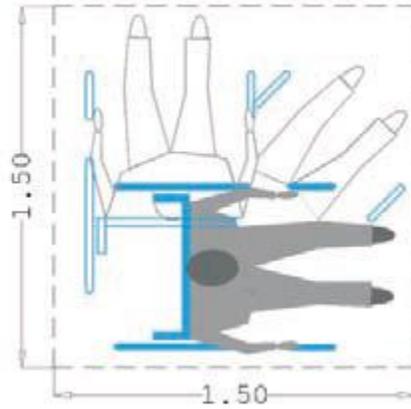


Fig. 2.9 Giro 90° [23]

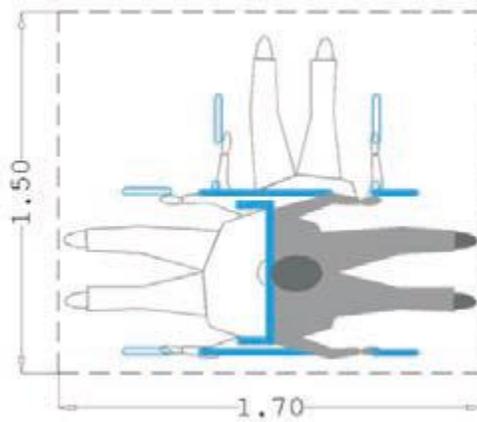


Fig. 2.10 Giro 180° [23]

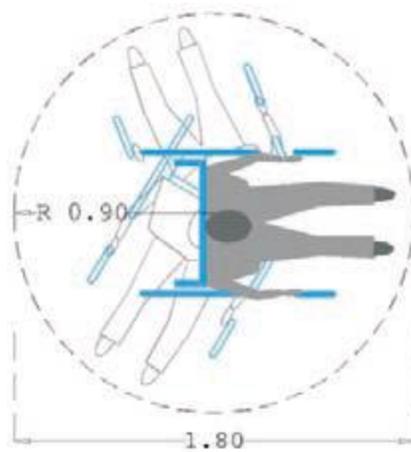


Fig. 2.11 Giro 360° [23]

2. Giros en espacios limitados

El espacio mínimo de los giros debe tenerse en cuenta en las áreas cerradas (sala, dormitorio, teatros, etc.) para que la persona en silla de ruedas pueda desplazarse con facilidad en el lugar en el que se encuentra, sin la necesidad de alguna ayuda.

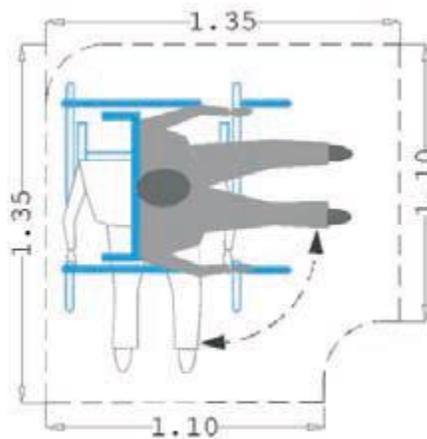


Fig. 2.12 Espacio mínimo para giro [23]

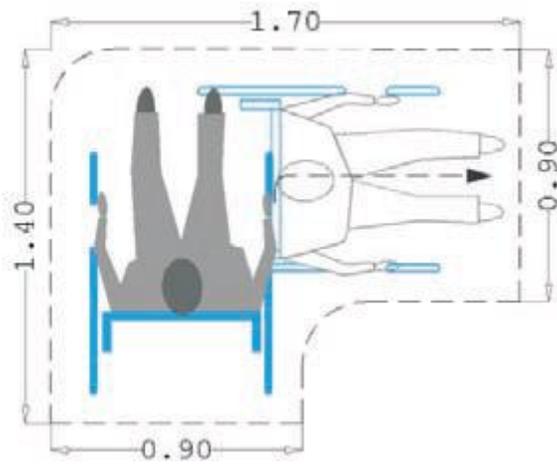


Fig. 2.13 Espacio mínimo para giro [23]

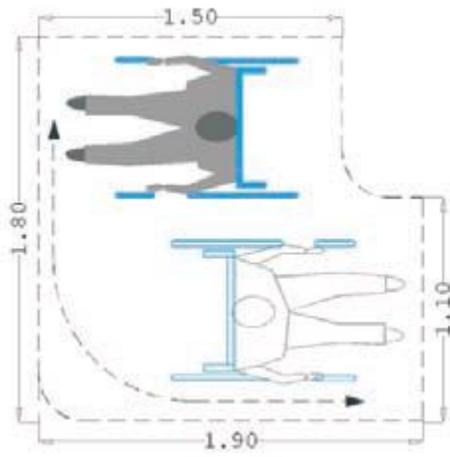


Fig. 2.14 Espacio mínimo para giro [23]

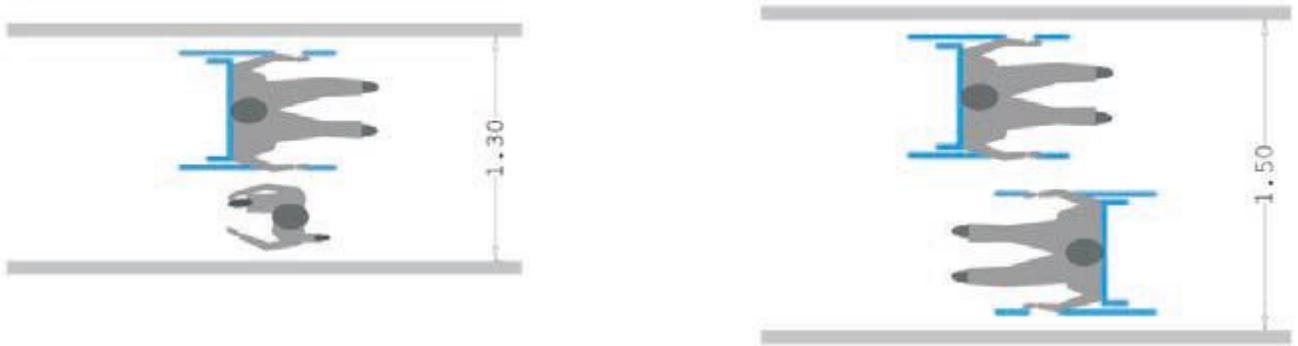


Fig. 2.15 Medidas corredores [23]

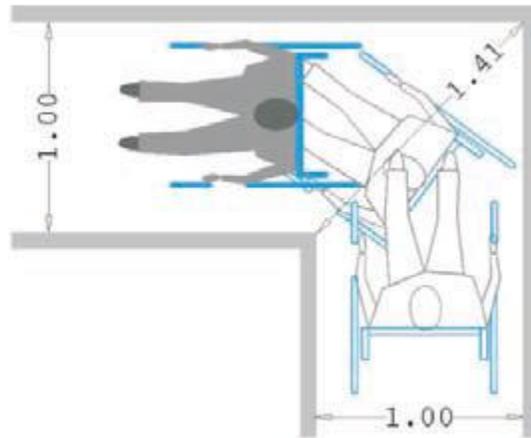


Fig. 2.15 Giro en corredores 90° [23]

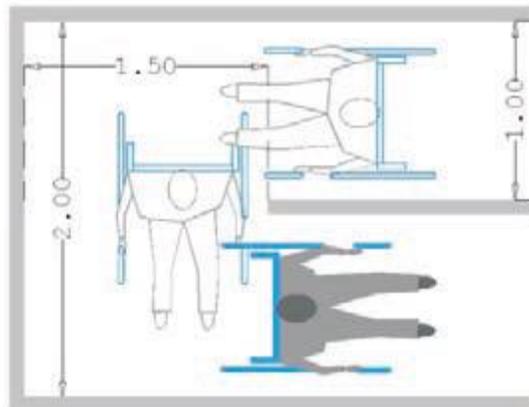


Fig. 2.16 Giro en corredores 180° [23]

Propulsión silla de ruedas

Gamas de movimientos

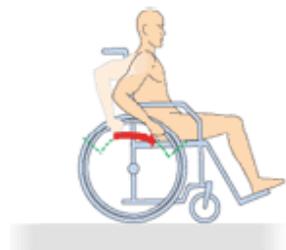
El grado de movilidad que tenga el usuario en la columna, hombro, codo, muñeca y dedos delimitará la posibilidad de realizar todo el recorrido de propulsión óptimo. En caso de tener una buena movilidad en estas articulaciones, el recorrido más eficaz es el indicado en la Figura 2.17. Iniciando por detrás del tronco hasta terminar a la altura de los muslos. De esta forma se aprovecha la flexión de los músculos del brazo que permiten aplicar la fuerza.



*Fig. 2.17 Recorrido más eficaz [24]**

Postura

Para poder propulsarse correctamente y aprovechar toda la energía de esta propulsión, el usuario debe estar correctamente sentado (erguido) en una posición sentada simétrica. Solo así podrá llegar adecuadamente a los aros de empuje y realizar el movimiento completo del brazo, para iniciar la propulsión de la rueda desde atrás, aplicando fuerza en todo el recorrido. Si el usuario se desliza en el asiento, los aros quedarán altos y le resultará incómodo iniciar la propulsión desde atrás, por lo que tenderá a iniciarla adelantado en el recorrido. De esta forma la propulsión será más corta y menos eficiente.



*Fig. 2.18 Postura correcta en silla de ruedas [24]**

Altura y posición de las ruedas

Para lograr una propulsión más eficaz, las ruedas traseras deben estar situadas de forma que el usuario con el hombro relajado y dejando caer el brazo estirado, pueda tocar con la punta de los dedos el eje de la rueda trasera. (Fig. 2.19) Si el eje de la rueda queda más alto de lo indicado, el aro de empuje le quedará también alto, y el usuario deberá flexionar demasiado los brazos para propulsarse (Fig. 2.20). La propulsión será más incómoda e ineficiente. Lo mismo ocurre si el eje de la rueda está más bajo que la punta de los dedos. El usuario deberá realizar la propulsión con los brazos demasiado estirados, y no podrá realizar la fuerza necesaria para la propulsión correcta (Fig. 2.21).

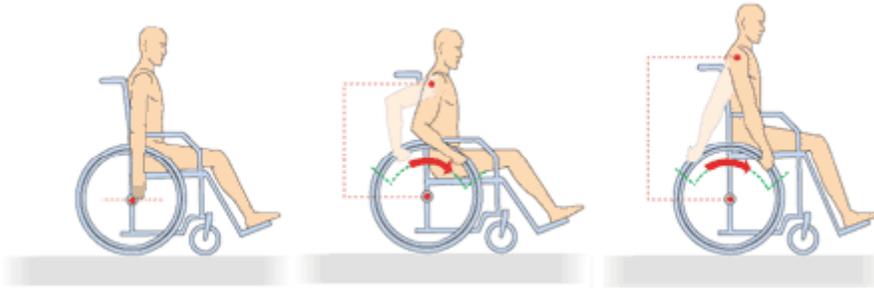


Fig. 2.19 [24]*

Fig. 2.20 [24]*

Fig. 2.21 [24]*

Esta misma regla marca también la posición óptima de la rueda. Si la rueda está adelantada y el eje queda por delante de los dedos, el usuario iniciará la propulsión con los brazos muy alejados del eje de la rueda y no podrá completar todo el recorrido (Fig. 2.22).

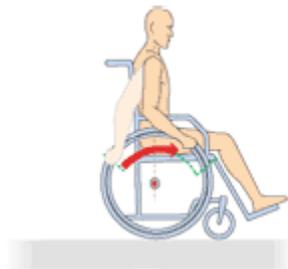


Fig. 2.22 [24]*

Si el eje queda por detrás de los dedos, el usuario empezará la propulsión adelantado y por lo tanto tendrá un recorrido más corto (menos eficiente) (Fig. 2.23).

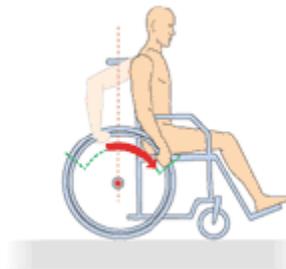


Fig. 2.23 [24]*

La posición de la rueda trasera afecta también a la estabilidad de la silla. Si la rueda está más retrasada la silla será más estable (caso de sillas estándar) pero también requiere mayor energía para la propulsión. Las sillas ligeras tienden a tener las ruedas traseras más adelantadas que la silla estándar. De esta forma necesita menor fuerza de palanca y menor energía para su propulsión.

Tamaño de la rueda

La rueda trasera más pequeña permite aplicar menor esfuerzo para propulsarla, pero también realiza un recorrido más corto. Se suelen utilizar ruedas inferiores a 600 mm (24") en usuarios con dificultad de movimiento en los hombros o columna cifótica. También se utilizan ruedas más pequeñas en sillas de niños para que el aro de empuje quede a una altura más adecuada a la longitud de sus brazos.

Distancia entre ejes

Una distancia larga entre ejes trasero y delantero permite mantener un rumbo más recto, pero también las ruedas recorren mayor distancia por lo que es necesaria más energía para su propulsión. Una distancia de ejes corta gira con mayor facilidad y se maneja más fácil al requerir menor gasto de energía para su propulsión.

Angulación de la rueda

La propulsión óptima se realiza con las ruedas traseras paralelas al asiento. De esta forma la distancia de los brazos al cuerpo es la adecuada para aplicar la energía necesaria para la propulsión correcta. Si las ruedas están más anchas en la base, la silla es más estable, pero los brazos quedan más cerca del cuerpo. Así se produce una mayor abducción de los hombros por lo que la propulsión es más difícil y menos eficaz.

Si las ruedas están más juntas en la base, los brazos quedarán muy lejos del cuerpo siendo difícil aplicar la fuerza necesaria para la propulsión. Además la silla es más inestable.

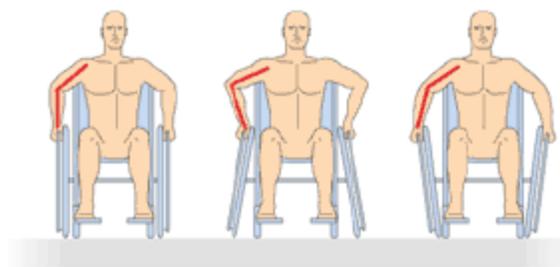


Fig. 2.24 [24]*

La postura en la silla de ruedas

La capacidad para funcionar de manera eficaz y realizar actividades depende de la habilidad para adoptar la postura apropiada. Esto hace que, si una persona no puede moverse o modificar su postura, puede ser necesario utilizar el asiento para intentar dar externamente lo que está limitado internamente.

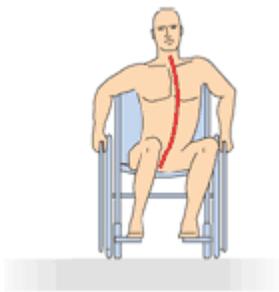
Una silla de ruedas únicamente resulta útil para su usuario si le proporciona comodidad y una base de asiento estable que le permita:

- a. Sentarse erguido en una posición sentada simétrica.
- b. Conseguir la máxima capacidad funcional con el mínimo gasto de energía.
- c. Reducir la presión que soporta en las nalgas y muslos.

A continuación analizaremos los distintos factores de los que depende que el usuario pueda adoptar en su silla la postura correcta para conseguir estos objetivos.

Tamaño del asiento

Asegura la estabilidad optimizando la zona del cuerpo del usuario en contacto con la base del soporte. También procura alivio de la presión al distribuir de manera uniforme el peso del usuario en la mayor superficie posible.



*Fig. 2.25 [24]**

Pandeo de la columna debido a un asiento ancho. Si el asiento es demasiado ancho el usuario tenderá a no sentarse simétricamente, si es demasiado estrecho existe el riesgo de que se produzcan escaras por presión.



*Fig. 2.26 [24]**

Si es demasiado corto, los muslos no se apoyan en el asiento en toda su longitud de forma que se acumula mayor presión en las nalgas.



Fig. 2.27 [24]*

Si es demasiado largo, puede producir tensión en la zona de detrás de la rodilla. También dificultará que el usuario obtenga el soporte adecuado del respaldo, ya que tenderá a deslizarse en el asiento para evitar la tensión.



Fig. 2.28 [24]*

La longitud óptima del asiento debe ser aquella que estando el usuario bien sentado (erguido) deje una distancia aproximada de dos dedos de espacio entre el final del asiento y la zona interna de las rodillas del usuario.

Forma y ángulo del asiento

El asiento debe de estar firme y nivelado

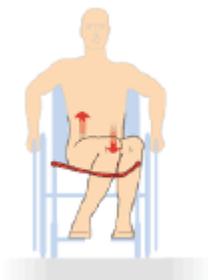


Fig. 2.29 [24]*

Una tapicería de asiento hundida provocará que el usuario se siente se manera asimétrica haciendo que los muslos y las rodillas se empujen. Esto producirá un exceso de presión y rozamiento.



Fig. 2.30 [24]*

Cuando se mantiene una buena postura, el ángulo de la cadera (entre los muslos y el tronco) es fundamental ya que determina la estabilidad de la pelvis. Se considera que el ángulo de 90° es el más adecuado para las actividades cotidianas. La mejor forma de conseguir este ángulo es utilizando un cojín adaptado a la forma humana, más bajo por detrás para acomodar la forma de las nalgas.

Soporte para los pies

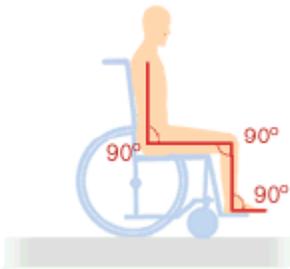


Fig. 2.31 [24]*

Una vez establecido el ángulo de la cadera en 90°, la mayoría de las personas se sentirán cómodas si las rodillas se encuentran también en un ángulo de 90°. Este mismo ángulo se debe mantener también en los tobillos.

Por lo tanto desde el punto de vista ergonómico los reposapiés deberían de ser de 90°. En sillas deportivas con ruedas delanteras más pequeñas el ángulo puede ser de unos 85°. En sillas normales es algo inferior, pero siempre tendiendo a aproximarse lo más posible a los 90°. En usuarios con piernas largas el ángulo del reposapiés deberá ser inferior para que las plataformas no entorpezcan actividades como subir un borde.



Fig. 2.32 [24]*

La altura a la que estén colocadas las plataformas también es importante. Si están demasiado bajas o el asiento demasiado alto, las rodillas del usuario estarán más bajas que sus caderas. De esta forma el usuario tenderá a deslizarse en el asiento, dificultando la propulsión y aumentando el rozamiento en las nalgas.



Fig. 2.33 [24]*

Si las plataformas están demasiado altas o el asiento bajo, las rodillas estarán más altas que las caderas aumentando la presión sobre las nalgas.

Altura del respaldo

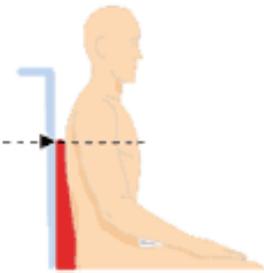


Fig. 2.34 [24]*

El respaldo debe ser lo bastante alto como para estabilizar la región lumbar superior.

Por encima de este nivel la altura del respaldo depende de las necesidades o preferencias particulares del usuario. En lesionados medulares cuanto más alta es la lesión necesitarán un respaldo más alto para dar soporte al tronco. También se recomienda un respaldo más alto para dar seguridad al usuario que usa por primera vez una silla de ruedas. Una vez acostumbrado y si su lesión lo permite, tenderá a respaldos más bajos que ofrecen mayor libertad de movimientos del tronco.

Forma del respaldo y ángulo

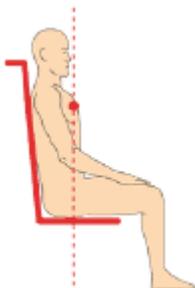
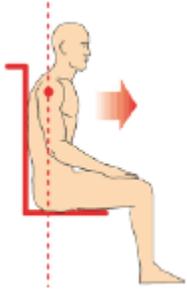


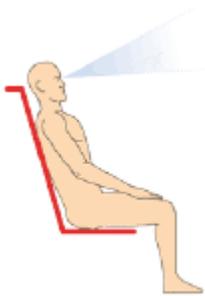
Fig. 2.35 [24]*

La mayoría de usuarios se sentirán cómodos con un respaldo que dé adecuado soporte a la región lumbar. La forma, junto con un ángulo de inclinación adecuado, proporciona apoyo y equilibrio a la parte superior del cuerpo. El respaldo debe de estar ligeramente reclinado para que la fuerza de gravedad recaiga sobre el pecho del usuario ayudándole a mantenerse estable en la silla.



Un respaldo completamente recto hace que la fuerza de gravedad recaiga en los hombros del usuario por lo que éste tenderá a inclinarse hacia adelante para compensarla.

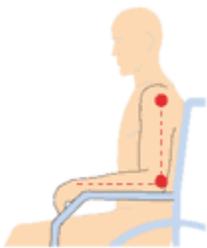
Fig. 2.36 [24]*



Un respaldo demasiado reclinado resulta incómodo porque el usuario ve reducido su campo visual.

Fig. 2.37 [24]*

Soporte de los brazos



Los reposabrazos procuran descanso a los brazos y músculos del cuello.

Cuando se ajustan de manera adecuada, los antebrazos del usuario apoyados deben quedar a 90° del codo. Si los apoyabrazos son demasiado altos, los hombros quedarán forzados hacia arriba, dando lugar a dolores musculares en la zona cervical. Si los apoyabrazos están demasiado bajos, el usuario tenderá a dejarse caer hacia un lado cuando los utilice. Una base de asiento estable puede eliminar la necesidad de apoyabrazos en los usuarios activos.

Fig. 2.38 [24]*

Con lo anterior, para el diseño de la silla de ruedas se debe de tomar en cuenta las posiciones y movimientos que realizará el usuario, evitando que el diseño obligue a la persona a tener posiciones incómodas y movimientos forzados, previniendo daños físicos al usuario.

CAPÍTULO 3. DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA SILLA DE RUEDAS

En el presente capítulo se retomarán los datos y resultados obtenidos en los capítulos anteriores para poder presentar un diseño conceptual de una silla de ruedas.

La conceptualización sirve para determinar a los elementos, procesos, o configuraciones que en alguna combinación resulten en un diseño capaz de satisfacer la necesidad.

3.1 Descomposición física de la silla de ruedas

La descomposición física es un enfoque de arriba hacia abajo para la comprensión de la naturaleza física del producto. El diagrama de descomposición (fig. 3.1) no es una solución neutra, ya que se basa en las partes físicas de un diseño ya existente. Una descomposición física ayudará al diseño de nuevas piezas alternativas.

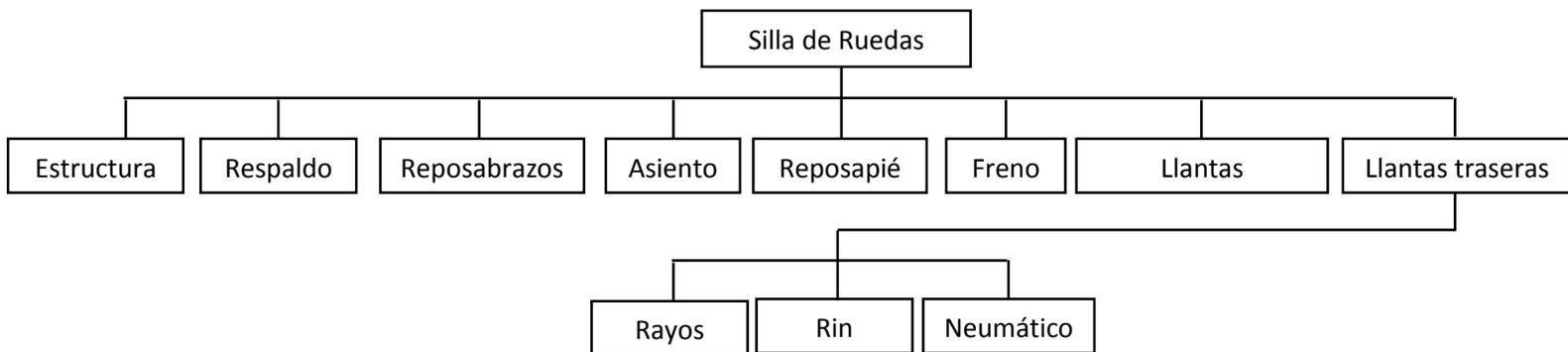


Fig. 3.1 Descomposición física de la silla de ruedas

3.2 Diagrama de caja de negra de la silla de ruedas

Para el desarrollo de la propuesta, se considerará la silla de ruedas como un sistema. El diagrama de caja negra (fig. 3.2), nos muestra las funciones de entrada y salida de nuestro sistema, que en este caso, son las fuerzas de empuje y el desplazamiento.



Fig. 3.2 Diagrama de caja negra de la silla de ruedas

3.3 Diagrama morfológico para el problema de la silla de ruedas que sube escaleras

Con lo observado en los diagramas anteriores, se tiene la descomposición funcional de la silla de ruedas. Se utilizará un diagrama morfológico (tabla 3.1) para poder organizar las posibles soluciones que servirán para resolver el problema de una silla de ruedas que sea capaz de subir y bajar escaleras.

| Diagrama morfológico para el problema de la silla de ruedas que sube escaleras | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|--|---|
| Soluciones posibles a los diferentes sub problemas | | | | | | | |
| | Estructura | Respaldo y Asiento | Reposabrazos | Reposapiés | Frenos | Ruedas | Sistema para poder subir escaleras |
| 1 | Tipo médico  | Acojinados  | Sin reposabrazos | Fijos  | Frenos de disco  | Ruedas para silla de ruedas  | Palancas acopladas a las llantas  |
| 2 | Tipo deportes extremos  | De lona  | Fijos  | Movibles  | Frenos "V-Brake"  | Ruedas para bicicleta  | Oruga  |
| 3 | Tipo todo terreno  | | Desmontables o abatibles  | | | | |

Tabla 3.1 Diagrama morfológico

3.3.1 Propuesta estructura

Para obtener la propuesta de una estructura que satisfaga las necesidades que se buscan en el diseño de la silla de ruedas se tomarán en cuenta los siguientes aspectos:

1. Ergonomía
2. Ligereza
3. Resistencia

A continuación se presentan tres propuestas de estructura que se utilizarán para el diseño de la silla, basadas en las que se utilizan en las sillas de ruedas mencionadas en el Capítulo 1.

Estructura A

Este tipo de estructura (fig. 3.3) está basada en el diseño que se utiliza en las sillas de ruedas para uso médico, esta estructura es rígida, el reposabrazos pertenece a la estructura, esta estructura contiene los soportes donde se sujetaran los reposapiés, el respaldo es totalmente horizontal y cubre en su totalidad la espalda del usuario y las llantas traseras estarían empotradas directamente a la estructura.

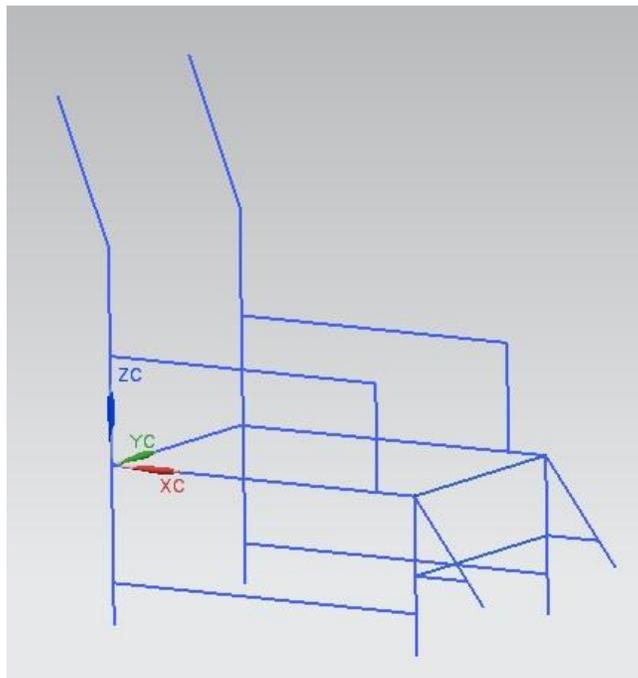


Fig. 3.3 Estructura A

Estructura B

Este tipo de estructura (fig. 3.4) está basada en el diseño de sillas de ruedas usadas en los deportes para personas con alguna discapacidad. Igual que la anterior es una estructura rígida, los reposapiés pertenecen a la estructura, no contiene reposabrazos, el respaldo es totalmente horizontal y cubre hasta la parte media de la espalda del usuario. Las llantas van sujetas a un eje el cual pertenece a la estructura.

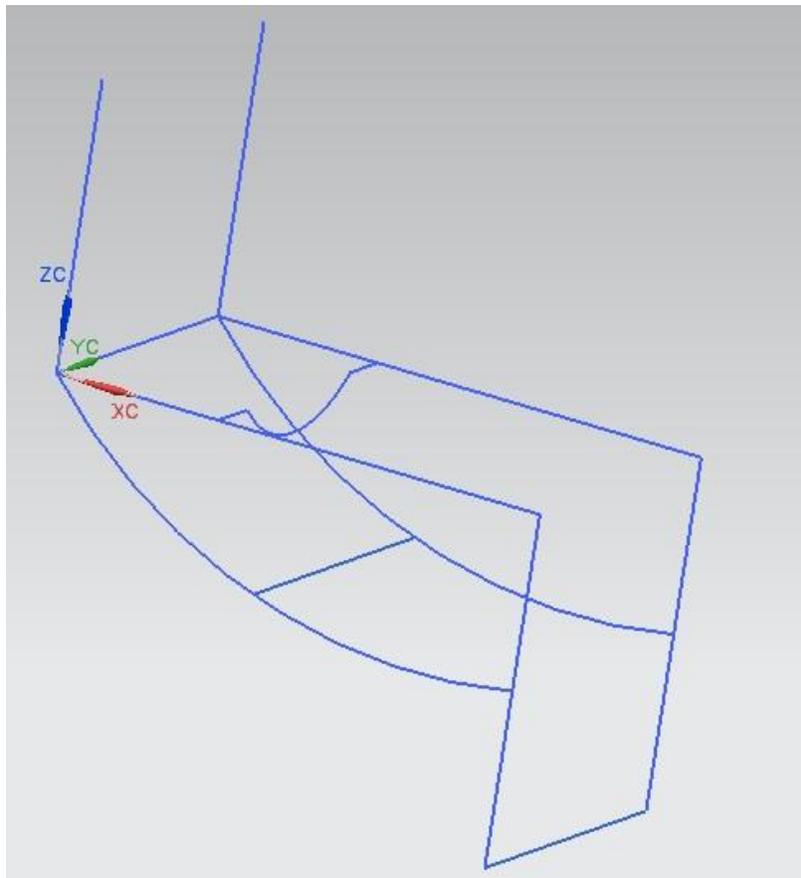


Fig. 3.4 Estructura B

Estructura C

Este tipo de estructura (fig. 3.5) está basada en el diseño de sillas de ruedas todo terreno, esta estructura es rígida, el reposapiés es parte de la estructura, no tiene reposabrazos, tiene un soporte debajo del asiento para poder empotrar la ruedas para que estas no estén sujetas directamente a la estructura, los arco que están en la estructura son protecciones para que el usuario no toque las ruedas. Las ruedas delanteras se acoplan a la base.

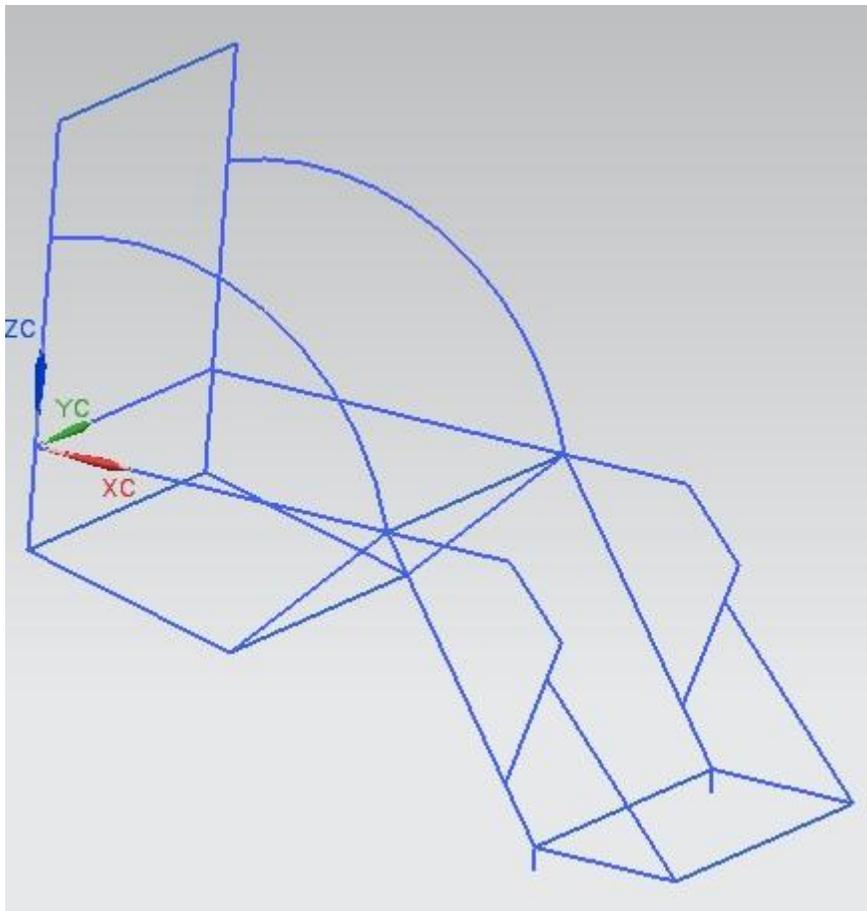


Fig. 3.5 Estructura C

A continuación se evaluarán las propuestas en una matriz de decisión con los criterios más importantes, mencionados anteriormente (ergonomía, ligereza y resistencia).

En la siguiente matriz tomaremos los siguientes valores:

- 2 Cumple completamente
- 1 Cumple
- 0 No cumple

Los valores usados en la matriz de decisión, se obtuvieron de una encuesta realizada a 120 usuarios de sillas de ruedas, donde el 40% prefería una silla de ruedas resistente y duradera, el 50% que fuera ligera y el 10% prefirió la comodidad. Para el peso de las estructuras se tomaron en cuenta las sillas de ruedas vistas en la tabla 1.1 del primer capítulo.

| Característica | | Estructura A | | Estructura B | | Estructura C | |
|----------------|-----|--------------|-----|--------------|-----|--------------|-----|
| | | | | | | | |
| Ergonomía | 10% | 1 | 0.1 | 1 | 0.1 | 1 | 0.2 |
| Ligereza | 50% | 1 | 0.5 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| Resistencia | 40% | 1 | 0.4 | 1 | 0.4 | 2 | 0.8 |
| Total | | 1.0 | | 1.6 | | 2.0 | |

Tabla 3.2 Matriz de decisión

Con los resultados obtenidos en la matriz de decisión, se concluye que la estructura que se utilizará para el diseño de la silla de ruedas es la propuesta C, ya que es la que cumple más con las características deseadas, debido a que presenta una mayor resistencia, es una estructura ligera y fácil de cargar, además de ser cómoda para el usuario. Los datos se basan en la experiencia de las personas encuestadas, que utilizan la silla de ruedas en su vida diaria.

3.3.2 Propuesta de asiento y respaldo

Para la toma de decisión del asiento y respaldo de la silla de ruedas se tomarán las características vistas en el Capítulo 1 para este tipo de accesorio.

Asiento y respaldo acojinados

Este tipo de asientos y respaldos (fig. 3.6) permiten al usuario tener un mayor confort y los ayuda a mantener una posición correcta, la desventaja que tiene es que son de un costo mayor al de los demás.



*Fig. 3.6 Asiento y respaldo acojinados [25]**

Asiento y respaldo de lona

Este tipo de asiento y respaldo (fig. 3.7) son los más fáciles de manufacturar para las sillas de ruedas, el asiento es cómodo ya que se ajusta a la forma de las nalgas del usuario, el respaldo ayuda a que el usuario no se caiga de lado ya que se hace curvo. La lona es fácil de limpiar pero se calienta mucho y puede causar irritación en la piel.

La desventaja de este tipo de asientos es que necesitan un cojín para mayor confort y seguridad y el respaldo tiende a aflojarse con el tiempo con lo que puede ocasionar que el usuario pueda sentarse en mala posición.



*Fig. 3.7 Asiento y respaldo de lona [26]**

Como se pudo observar los dos tipos más comunes de bases de asiento y respaldo son los sólidos (Fig. 3.6) y de tela (Fig. 3.7). Los asientos de tela (también llamados asientos colgados) están hechos de material flexible como lona o vinilo. Los asientos sólidos no son flexibles y a menudo están hechos de madera, metal o plástico. Para la elección del tipo de asiento y respaldo que se va a utilizar se tomarán en cuenta los siguientes aspectos:

1. La superficie de los asientos de sillas de ruedas debe ser continua, sin quiebres que pudieran herir o pellizcar la piel del usuario.
2. El ángulo del asiento, en relación con la horizontal, debe estar entre 0 y 12 grados (con la parte delantera del asiento más alta que su parte trasera).
3. El asiento debe estar nivelado de un costado al otro.
4. Los asientos de tela se deben fabricar con materiales que no se estiren con el tiempo debido al peso del usuario.
5. Los asientos de tela y los asientos sólidos se deben usar con cojines que estén diseñados o modificados para su uso con asiento de tela o asiento sólido, respectivamente.

La falla del asiento y cojín de la silla de ruedas es problema frecuente. Los asientos de tela hechos con materiales de mala calidad o inadecuados pueden colgarse o rasgarse. Los cojines de las sillas de ruedas no están hechos para funcionar con dichos asientos. Esto significa que el usuario termina sentado en un asiento inestable, sin alivio de la presión y, en consecuencia, el usuario podrá dejar de usar la silla de ruedas por incomodidad.

Propuesta seleccionada

Como conclusión a todo esto, se decidió el uso de asiento y respaldo acojinados ya que les brindan al usuario mayor comodidad, alivio de presión y apoyo postural. Esto es importante ya que para muchos usuarios, un cojín que ofrece cierta comodidad les ayudará a usar la silla de ruedas durante más tiempo.

3.3.3 Propuesta reposabrazos

Para tomar la decisión del tipo de reposabrazos que se van a utilizar en la silla de ruedas se tomarán en cuenta las opciones vistas en el Capítulo 1.

Sin reposabrazos

Muchas personas con los brazos fuertes y con buen control del tronco prefieren sillas de ruedas sin reposabrazos (fig. 3.9) y con respaldos bajos. Es más fácil empujar las ruedas para moverse, la silla es menos pesada. Sin los reposabrazos es más fácil bajar y subir de lado. Esto es muy importante cuando las personas tienen las piernas paralizadas y los brazos muy débiles. La desventaja de esto es que varios usuarios necesitan sillas con brazos para balancearse mejor, estar en una mejor posición o estar más cómodos.



*Fig. 3.9 Silla de ruedas sin reposabrazos [27]**

Reposabrazos fijos

Este tipo de reposabrazos (fig. 3.10) casi siempre son parte de la estructura de la silla, hay que escoger la altura y el largo de los brazos según las necesidades de cada persona. Este tipo de reposabrazos son útiles si la persona no puede usar de ninguna manera las piernas para bajarse de la silla, pueden ayudar al usuario a sentarse en una mejor posición y a estar más cómodos, la desventaja que tienen es que estorban para empujar las ruedas y para bajar la silla de lado, a muchas personas les estorban más de lo que les ayudan.



*Fig. 3.10 Silla con reposabrazos fijos [28]**

Reposabrazos desmontables o abatibles

Los reposabrazos desmontables o abatibles (fig. 3.11) tienen la cualidad de que el usuario puede usarlos cuando los necesite, la desventaja es que se pueden perder en el caso de los desmontables.



*Fig. 3.11 Reposabrazos abatibles y desmontables [29]**

Los usuarios deben usar los reposabrazos de la silla de ruedas sólo para apoyo postural pasajero. Si es necesario, se debe recurrir a otras opciones de apoyo postural, de manera que los brazos del usuario queden libres para actividades como la propulsión. Los reposabrazos de la silla de ruedas ayudan a trasladarse a la silla y salir de ella, por ejemplo, como apoyo para ponerse de pie.

Propuesta seleccionada

A muchos usuarios les parece más fácil trasladarse a la silla de ruedas y fuera de ella si los reposabrazos de ésta son fijos (Fig. 3.10) o bien removibles (Fig. 3.11). Para la silla de ruedas usaremos los reposabrazos fijos los cuales estarán apegados al perfil de la rueda trasera y que sean parte de la estructura de la silla de ruedas para brindarle mayor comodidad del usuario y permitirle levantar el cuerpo y aliviar el peso sobre las zonas sensibles a la presión durante lapsos prolongados en posición de sentado. Con esta opción se evita el uso de mecanismos y piezas extras para el montaje de otro tipo de reposabrazos.

3.3.4 Propuesta reposapiés

A continuación se muestran las posibles soluciones para la elección de un tipo de reposapiés para la silla de ruedas, las cuales se mencionan con una descripción general en el Capítulo 1 de este trabajo.

Reposapiés fijos

Este tipo de descansos (Fig. 3.12) casi siempre es parte de la estructura de la silla, son muy útiles para bajar y subir de la silla, también este tipo de descansos pueden ser atornillados a la estructura de la silla facilitando el cambio de posición de estos. Algunas veces este tipo de descansos son estorbosos para el usuario.



Fig. 3.12 Reposapiés fijo

Reposapiés móviles

Los reposapiés móviles (Fig. 3.13) facilitan el subir y bajar de la silla, son los mejores descansos ya que el mismo usuario puede moverlos a su comodidad, la desventaja es que pueden llegar a ser poco estables.



Fig. 3.13 Reposapiés móviles

Para poder obtener la decisión más adecuada para el diseño de la silla de ruedas en relación a los reposapiés se tomara en cuenta que:

1. Los reposapiés se deben ajustar por separado para cada usuario.
2. Bien ajustados, los apoya pies reduce la presión sobre el asiento del usuario y coloca a éste en una postura sentado sana.
3. Éstos pueden estar provistos de una correa a la pantorrilla que mantiene el pie sobre la pisadera.
4. Se debe dejar una distancia libre sobre el suelo para que la pisadera no choque contra obstáculos ni se enganche y vuelque la silla de ruedas en terreno disparejo.
5. Los reposapiés debe tener el largo y el ancho suficientes para sostener el pie.

Propuesta seleccionada

Con lo anterior se concluye que la opción que mejor se acomoda al diseño de esta silla de ruedas son los reposapiés fijos, ya que son los que mayor estabilidad le dan al usuario y así evitar accidentes con los reposapiés desmontables o ajustables, ya que se podrían atorar con los obstáculos (en este caso los escalones). La ventaja de usar este tipo de reposapiés es evitar el uso de más piezas y mecanismos.

3.3.5 Propuesta frenos

Los frenos permiten desacelerar o detener completamente la silla de ruedas. Están formados por el mecanismo de freno, las zapatas y las correspondientes manetas (o palancas) de freno. Hay que contar también con los cables del freno, que unen las manetas izquierda y derecha al mecanismo de los frenos.

Todos los sistemas de frenado pueden clasificarse en dos tipos: frenos de llanta (los más habituales) y frenos de buje (cada vez más conocidos). Los primeros actúan a través de la presión ejercida sobre ambos lados de la llanta, y van desde los más clásicos cantiléver hasta los “V-Brake”. Los frenos de buje por su parte actúan a través de la presión ejercida sobre el buje de la rueda., empleando el sistema de contra-pedal (anticuado), frenos de tambor (no resultan adecuados en este caso por su peso) o frenos de disco similares a los que pueden encontrarse en los coches o en las motocicletas.

En la práctica se distinguen dos tipos de frenado, el que se podría llamar “de servicio” y que sirve para ir regulando la velocidad y el “de emergencia”, que sirve para tratar de evitar el descontrol de la velocidad y/o de la dirección, así como los posibles impactos derivados de tales situaciones. Dosificar la velocidad con el freno para circular en función de las necesidades es cuestión de tacto y práctica, pero en todos los casos la energía cinética se disipa en forma de calor (los frenos se calientan), por lo que los frenos más utilizados en las bicicletas de montaña son los frenos de llanta y frenos de disco.

Se podrá usar el mismo sistema de frenos en la silla de ruedas ya que las condiciones en las que va a trabajar son muy parecidas a las de la bicicleta de montaña.

Las dos posibles soluciones que se plantean para resolver el problema de los frenos son las siguientes:

Frenos de disco

Los frenos de disco (fig. 3.14) pueden ser mecánicos o hidráulicos (a base de aceite). En relación a los frenos de llanta sus mayores ventajas son la amplia superficie de frenado, la mayor capacidad para disipar el calor y que no rayan la llanta ni existe posibilidad de estropear el neumático por el rozamiento. Sus desventajas son el aumento de peso, el posible ruido de fricción derivado de la resistencia del disco, la necesidad de montar bujes especiales y tirantes que resistan la enorme fuerza generada en la zona, un costo elevado, la necesidad de un mantenimiento más complejo y frecuente e incluso la necesidad de cables hidráulicos especiales.



*Fig. 3.14 Frenos de disco en una silla de ruedas [32]**

Frenos V-Brake

Los frenos V- Brake (fig. 3.15) son la evolución de los frenos cantilever, y también se conocen como cantilever de tensado directo. Tienen un buen agarre que, combinado con las llantas, radios y neumáticos, han restado importancia a la diferencia de potencia con respecto a los frenos de disco. Al igual que los cantilever, los brazos se montan en unos pernos sujetos a una horquilla y el cable va directo al brazo de freno. Esto permite que la presión de las zapatas se ejerza perpendicular a la llanta, aumentando su eficacia y simplificando el ajuste de todo el sistema.



*Fig. 3.15 Frenos V-Brake [33]**

Propuesta seleccionada

Lo mencionado anteriormente permite concluir que el sistema de frenado es uno de los más importantes en el diseño de la silla de ruedas, por lo cual la propuesta seleccionada son los frenos de disco, estos le brindan una mayor seguridad al usuario y mayor facilidad de frenado, ya que no es necesario aplicar una gran fuerza para que la silla pueda frenar, además de que el mantenimiento que se le da a este tipo de frenos es ocasional.

3.3.6 Propuesta ruedas traseras

Las ruedas son una parte importante de la silla, incluso es lo que le da el nombre a este vehículo. Basado en la información obtenida en el Capítulo 1 se seleccionarán el tipo de ruedas que llevará la silla.

La rueda trasera debe estar en una posición tal que permita que el usuario pueda efectuar el mayor movimiento de propulsión posible y mantenga a dicho usuario en equilibrio seguro, de acuerdo con el respectivo nivel de destreza y capacidad. La posición de la rueda trasera debe permitir que el usuario tenga un buen movimiento de empuje y ofrecer la estabilidad necesaria.

Ruedas para silla de ruedas

Este tipo de ruedas (fig. 3.16) por lo general, tienen llantas neumáticas, lo que permite que este tipo de llantas ayuden a amortiguar los accidentes del terreno y presentan un buen agarre en la mayoría de las superficies. El único inconveniente es que son lisas, esto provoca que la silla solo podría circular por terrenos lisos, ya que el recorrido en terrenos disparejos es incómodo y brusco, además de ser peligroso para el usuario.



*Fig. 3.16 Rueda para silla de ruedas [34]**

Ruedas para bicicleta

En este tipo de ruedas (Fig. 3.17) hay una gran variedad para elegir, desde ruedas para terrenos regulares, hasta ruedas tipo todo terreno, la ventaja de este tipo de ruedas es que hay de diferentes tamaños y materiales a comparación de las ruedas para silla de ruedas, además de que ciertos modelos de estas ruedas permiten una mejor tracción la cual permite circular con mayor comodidad sobre los obstáculos.



*Fig. 3.17 Ruedas tipo todo terreno [35]**

Propuesta seleccionada

Con lo expuesto anteriormente se llega a la conclusión de utilizar ruedas para bicicleta ya que se tiene un margen más amplio de selección de ruedas, además que son más comerciales que las que se utilizan en las sillas de ruedas convencionales.

Las ruedas para las sillas convencionales no se seleccionaron debido a que su uso se limita a terrenos regulares, por lo que se descartan de inmediato, ya que la silla de ruedas que se va a diseñar necesita ruedas que sean resistentes a terrenos irregulares, porque el objetivo de la silla de ruedas es que logre bajar y subir escaleras y brindarle la mayor seguridad posible al usuario.

3.3.7 Propuesta de dispositivo para lograr subir escaleras

Como se vio en el Capítulo 1.4 sobre los dispositivos utilizados en las sillas de ruedas modificadas se llegó a la conclusión que los sistemas más utilizados para este tipo de sillas de ruedas y que han logrado mejores resultados en la superación de obstáculos son los siguientes:

Oruga

Es un dispositivo de transporte utilizado principalmente en vehículos pesados, como tanques y tractores, u otro tipo de vehículos. Consiste en un conjunto de eslabones modulares que permiten un desplazamiento estable aun en terrenos irregulares.

La mayoría de las orugas forman parte de un cinturón flexible con un conjunto de eslabones rígidos unidos unos a otros fuertemente. Los eslabones ayudan al vehículo a distribuir el peso en una superficie mayor y esto hace que pueda moverse por un número mayor de superficies.



*Fig. 3.18 Oruga de caucho [36]**

Palanca

En la actualidad lo que se busca en las sillas de ruedas es aumentar la comodidad y el tiempo de traslado, por lo que una solución que se ha dado para satisfacer este tipo de problemas es añadir un par de palancas a las sillas de ruedas (fig. 3.19), las cuales van acopladas a las ruedas de las sillas. Los fabricantes de este tipo de sistemas afirman que estas adecuaciones a la silla de ruedas proporcionan hasta el 60% más de eficiencia energética que la propulsión regular de los aros de las llantas que se empujan manualmente, lo que significa que los usuarios pueden subir rampas más empinadas o simplemente avanzar mucho más utilizando menos energía.



*Fig. 3.19 Silla de ruedas con palancas acopladas a sus ruedas traseras [37]**

Propuesta seleccionada

Con la información obtenida se puede concluir que se pueden utilizar estos dos sistemas en el diseño de la silla de ruedas, ya que el acople de estos dos le brindará al usuario mayor manejabilidad y seguridad en el uso de la silla de ruedas modificada. Debido a que la oruga le permitirá a la persona un desplazamiento estable sobre las escaleras y las palancas le ayudarán a transmitir mayor fuerza y desplazarse con mayor facilidad sobre este tipo de obstáculos.

3.4 Propuestas seleccionadas

En la sección anterior se eligieron las soluciones de cada sistema de la silla de ruedas las cuales son las que cumplen con las características deseadas para la silla de ruedas capaz de subir y bajar escalones.

En la tabla 3.3 se muestran las propuestas seleccionadas.

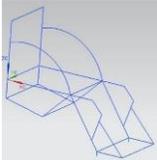
| Sistema | Propuesta seleccionada |
|------------------------------------|---|
| Estructura | Estructura C  |
| Asiento y Respaldo | Asiento y Respaldo acojinados  |
| Reposabrazos | Reposabrazos fijos  |
| Reposapiés | Reposapiés fijos  |
| Frenos | Frenos de disco  |
| Ruedas | Ruedas de bicicleta todo terreno  |
| Sistema para poder subir escaleras | Oruga + Palanca  |

Tabla 3.3 Propuestas seleccionadas para el diseño de la silla de ruedas

CAPÍTULO 4. DISEÑO DE CONFIGURACIÓN DE LA SILLA DE RUEDAS

4.1 Estructura

La estructura es la parte más importante de la silla de ruedas, ya que en esta van montados los sistemas que conforman a la silla, además de que, es la que soporta el peso del usuario.

Para el diseño de la estructura se tomarán en cuenta las medidas establecidas para la construcción de sillas de ruedas vistas en el Capítulo 2 además de basarse en la tabla 1.1 del Capítulo 1 para la elección del material que se utilizará para esta estructura.

Selección del material para la estructura

Una de las decisiones más importantes que hay que hacer para la elección de material para la silla de ruedas, es el peso de la estructura de la silla. Por el tipo de uso que se le pretende dar a la silla de ruedas, lo que se busca es contar con un marco “ultra-ligero” para poder evitar el un esfuerzo excesivo del usuario para poder manejar la silla.

En general, existen tres tipos de materiales utilizados en la fabricación de marcos de silla de ruedas ligeras:

- Aluminio
- Fibra de carbono
- Titanio

Estructuras de aluminio

La mayoría de las sillas de ruedas ligeras están hechas de aluminio. El espesor y el diámetro de la tubería es una manera de que los fabricantes pueden reducir el peso, sin embargo puede haber un compromiso en la fuerza de la trama, como resultado, por lo que el peso del usuario tendrá que ser una cuenta a la hora de elegir este tipo de material.

Estructuras de fibra de carbono

Relativamente nuevo como material para la fabricación marco de la silla, es menos de una cuarta parte del peso del acero. Ofrece un alto rendimiento, rigidez, amortiguación y durabilidad, una estructura de fibra de carbono será el más ligero de todos los materiales, y puede ser adaptada a las necesidades del usuario. El único inconveniente sin embargo es en el costo, ya que son las estructuras más caras de producir.

Estructuras de titanio

El titanio tiene una cualidad única en la absorción de impactos, en el caso de las sillas de ruedas, hay menor vibración transmitida al usuario. Su dureza, tacto y la resistencia a la fatiga, nos asegura mucha fiabilidad. Con este tipo de material se crean estructuras resistentes y ligeras.

Características de los materiales

1. Aluminio

El aluminio es un metal ligero, blando pero resistente, de aspecto gris plateado. Su densidad es aproximadamente un tercio de la del acero o el cobre. Es muy maleable y dúctil y es apto para el mecanizado y la fundición.

Debido a su elevado calor de oxidación se forma rápidamente al aire una fina capa superficial de óxido de aluminio (Alúmina Al_2O_3) impermeable y adherente que detiene el proceso de oxidación proporcionándole resistencia a la corrosión y durabilidad.

2. Fibra de carbono

Las propiedades de las fibras de carbono, tales como una alta flexibilidad, alta resistencia, bajo peso, tolerancia a altas temperaturas y baja expansión térmica, las hacen muy populares en la industria aeroespacial, ingeniería civil, aplicaciones militares, deportes de motor junto con muchos otros deportes. Sin embargo, son relativamente caros.

3. Titanio

El titanio es uno de los elementos más abundantes de la naturaleza. Es un metal muy resistente, ligero y tiene una densidad considerablemente baja, siendo excelente en la resistencia frente a la corrosión. El titanio es tan fuerte como el acero y con frecuencia se lo compara con dicha aleación, es un 60 por ciento más pesado que el aluminio, sin embargo, es el doble de fuerte.

Propiedades de los materiales

En la tabla 3.4 se muestran las propiedades físicas y mecánicas de los posibles materiales a utilizar.

| Material | Densidad [g/cm ³] | Módulo de elasticidad [MPa] | Límite elástico [MPa] | Resistencia a la tracción [MPa] | Ductilidad %EL (En 2 pulg.) |
|------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Aluminio 6061-T6 | 2.7 | 69000 | 28 | 69 | 45 |
| Fibra de Carbono | 1.75 | 294000 | 2400 | 3500 | - |
| Titanio | 4.507 | 107000 | 240 | 330 | 30 |

Tabla 4.1 Propiedades de los materiales obtenidas del libro "Introducción a la ciencia e Ingeniería de los materiales. Callister"

Para la selección del material a utilizar se tomarán en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Costo 10%
- b) Ductilidad 10%
- c) Peso 50%
- d) Resistencia 10%
- e) Rigidez 20%

El valor que se dará a cada elección será la siguiente:

- 3 Excelente
- 2 Bueno
- 1 Malo

| Característica | Aluminio | | Fibra de carbono | | Titanio | |
|-----------------|----------|-----|------------------|-----|---------|----|
| Costo 10% | 3 | .3 | 1 | .1 | 2 | .2 |
| Ductilidad 10% | 3 | .3 | 3 | .3 | 3 | .3 |
| Peso 50% | 3 | 1.5 | 3 | 1.5 | 2 | 1 |
| Resistencia 10% | 2 | .2 | 3 | .3 | 3 | .3 |
| Rigidez 20% | 2 | .4 | 3 | .6 | 3 | .6 |
| Total | 2.7 | | 2.8 | | 2.4 | |

Tabla 3.5 Selección del material

El material seleccionado para la estructura de la silla de ruedas será la fibra de carbono, debido a que sus propiedades ayudarán a crear una estructura ligera y muy resistente, esto es muy importante, debido a las condiciones de uso que tendrá la silla.

CAD de la estructura

En la siguiente imagen se observa el diseño realizado de la estructura que se va a utilizar en la silla de ruedas, la cual incluye los reposabrazos y reposapiés, ya que estos pertenecen a la estructura.

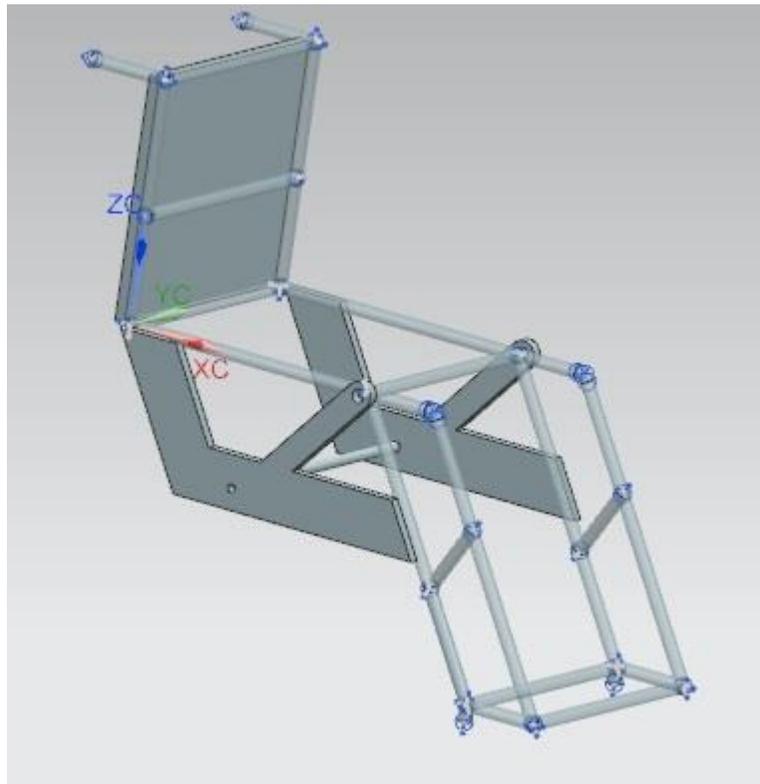


Fig. 4.1 Propuesta de la estructura de la silla de ruedas

4.2 Asiento y Respaldo acojinados

Para el asiento y respaldo de la silla de ruedas se tomaron productos existentes en el mercado, debido a que el objetivo del trabajo es el diseño de la silla de ruedas y no de sus accesorios.

El respaldo está diseñado para ayudar al usuario de sillas de ruedas a obtener una sedestación más equilibrada, disminuyendo las molestias causadas al mantenerse sentado durante largos periodos de tiempo. El respaldo está equipado con placas lumbares y placas laterales para un mayor soporte. Se propone un asiento de espuma viscoelástica con una funda de poliuretano, el cual es impermeable a los líquidos, sin embargo es transpirable (permite el paso de aire por lo que no se calienta).



Fig. 4.2 Respaldo para silla de ruedas marca SYSTAM

Lo que se busca en el asiento es evitar puntos de presión mientras se está sentado; impidiendo la aparición de escaras. Ideal para sentarse por largos periodos de tiempo. Se propone un asiento de espuma viscoelástica con una funda de poliuretano, el cual es impermeable a los líquidos, sin embargo es transpirable (permite el paso de aire por lo que no se calienta).



Fig. 4.3 Cojín para silla de ruedas Tempur

4.3 Ruedas

Se eligieron ruedas rodada 26 (660 mm) ya que las ruedas más largas permiten circular con más comodidad sobre los obstáculos. Mayor tracción, ya que son capaces de circular con menor presión de aire. En las ruedas van acoplados el freno de disco, elegido por sus características vistas en el Capítulo 3.3.5, dos piñones libres de monovelicidad, los cuales nos permitirán tener el movimiento hacia adelante y hacia atrás de las ruedas. Se incluye el aro propulsor para mayor maniobrabilidad del usuario.

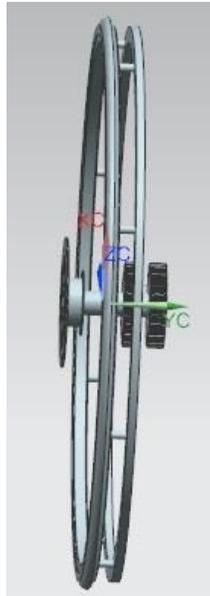


Fig. 4.4 Propuesta de rueda con aro propulsor, piñones y freno de disco

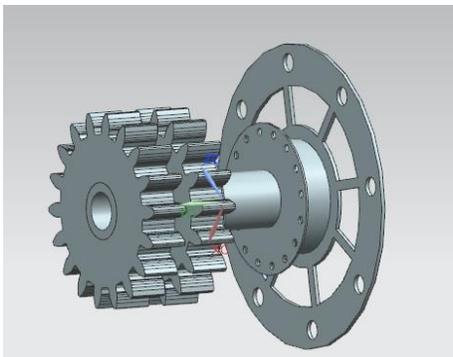


Fig. 3.24 Propuesta de piñón y freno de disco

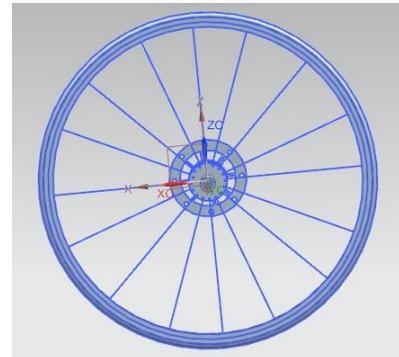


Fig. 3.25 Vista lateral rueda

4.4 Oruga y palanca

El diseño de la oruga (fig. 4.5) propuesta presenta ventajas principales con respecto al uso de ruedas para la superación de escalones en sillas de ruedas, ya que la oruga genera menor presión sobre el terreno debido al reparto del peso y el aumento de la adherencia. Por eso las orugas son especialmente adecuadas para su uso en suelos deformados y poco regulares (en este caso, escaleras).

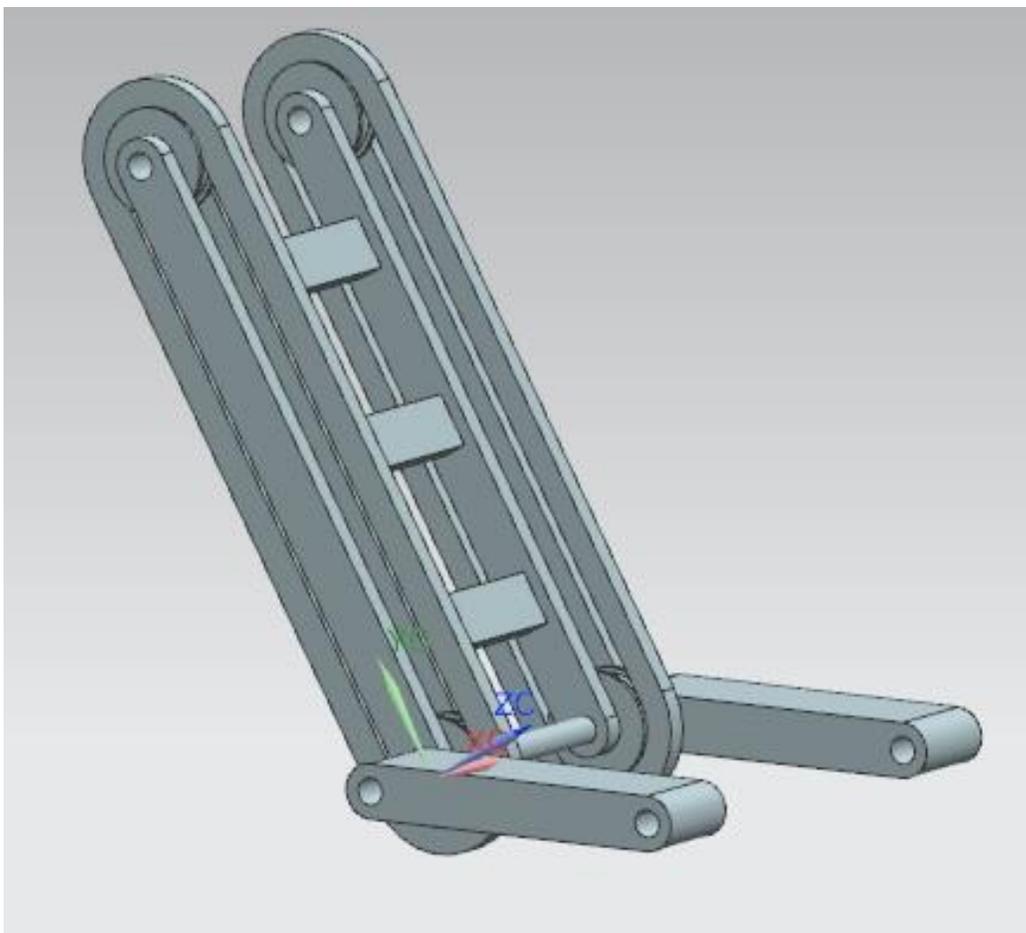


Fig. 4.5 Propuesta de oruga que facilita el ascenso y descenso de la silla de ruedas

Se propone el diseño de palanca con piñón libre (fig. 4.6) la cual funcionará con un mecanismo desviador para seleccionar la relación de marcha deseada.

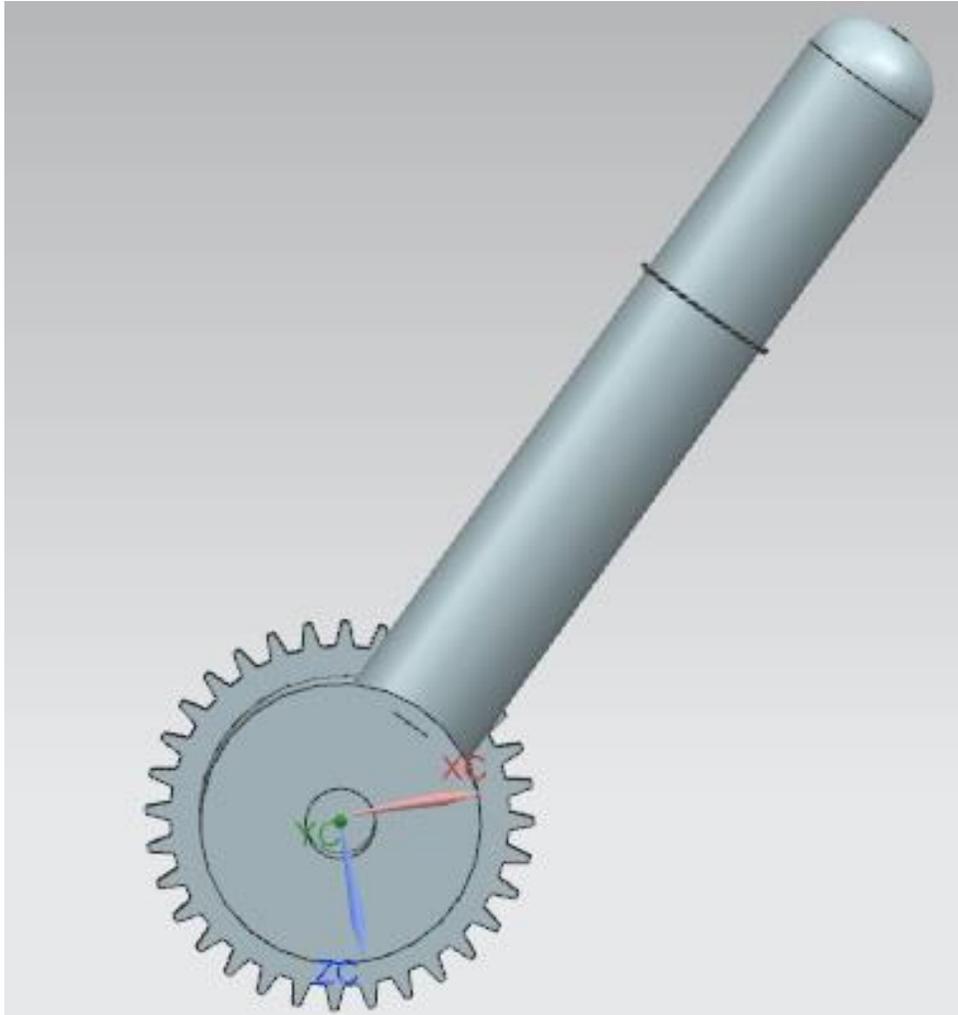


Fig. 4.6 Propuesta de palanca para la propulsión de la silla de ruedas

4.5 Propuesta de configuración final de la silla de ruedas

A continuación se presenta el diseño final de la silla de ruedas (fig.4.7) con todos los componentes que la conforman.

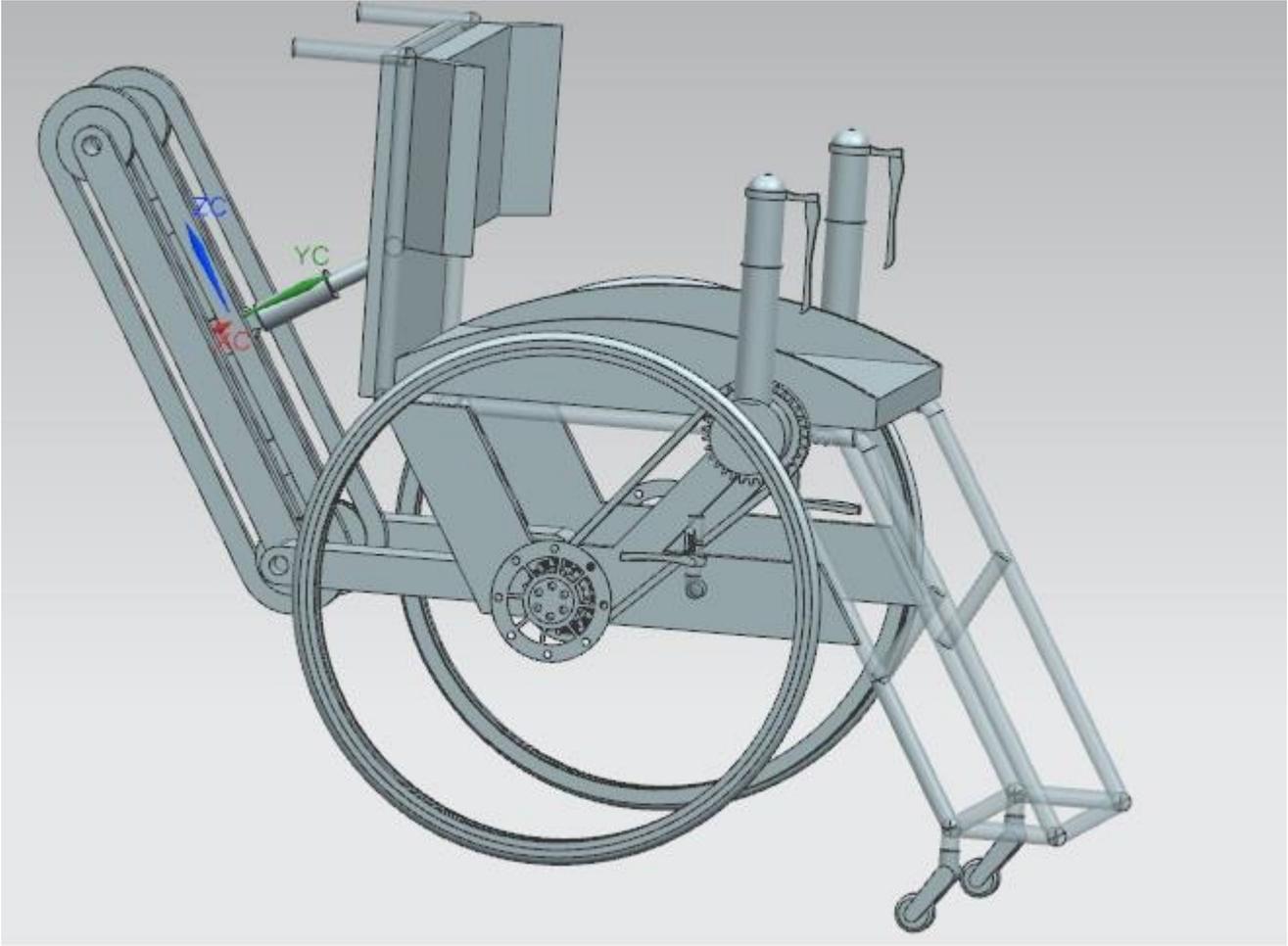


Fig. 4.7 Configuración final de la silla de ruedas

4.6 Componentes de la silla de ruedas

La figura 4.8 muestra las diferentes piezas que componen la silla de ruedas propuesta

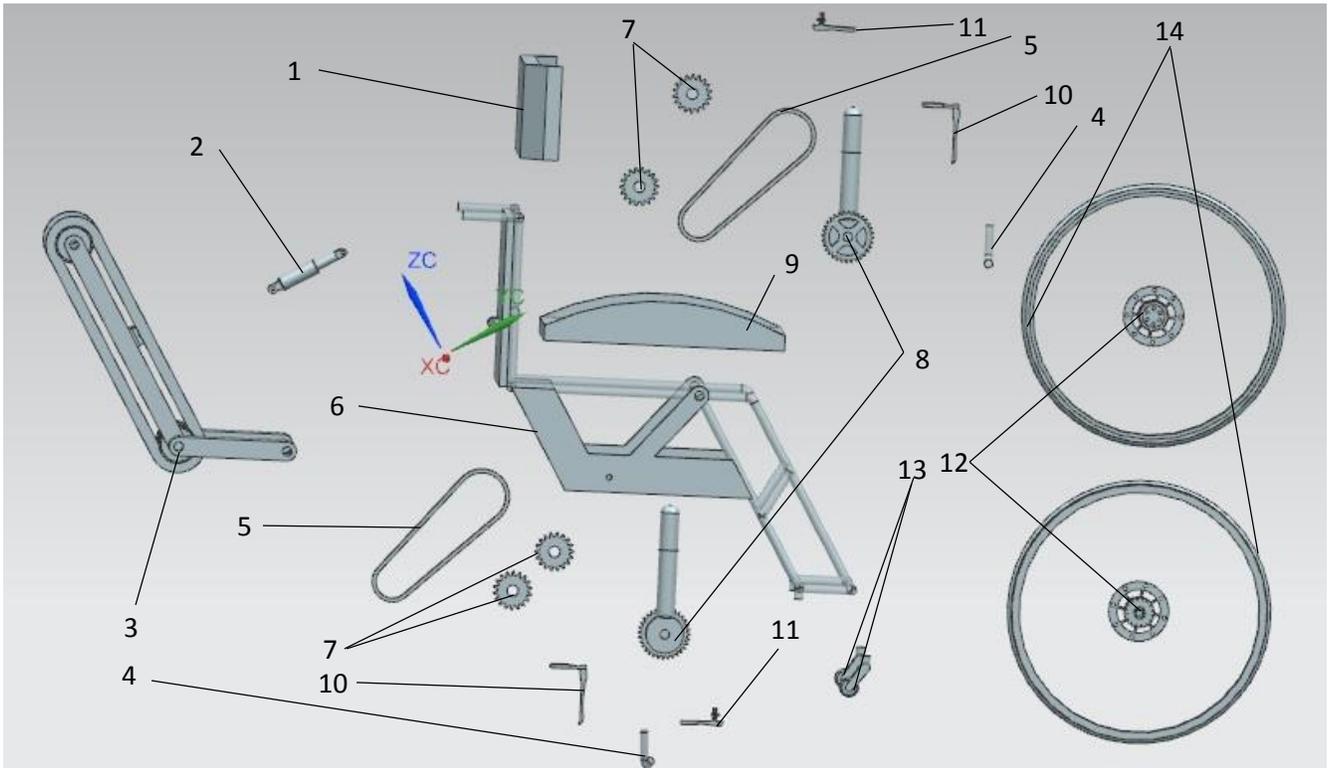


Fig. 4.8 Diagrama de la silla de ruedas

Lista de componentes:

1. Asiento
2. Amortiguador
3. Oruga
4. Soporte para desviador
5. Cadena
6. Estructura
7. Piñones libres
8. Palanca
9. Asiento
10. Manetas de freno de disco
11. Desviador de cadena
12. Frenos de disco
13. Ruedas delanteras
14. Ruedas traseras

4.7 Diagrama explosivo de la silla de ruedas

La figura 4.9 muestra el ensamble de la silla de ruedas propuesta en un diagrama en explosión

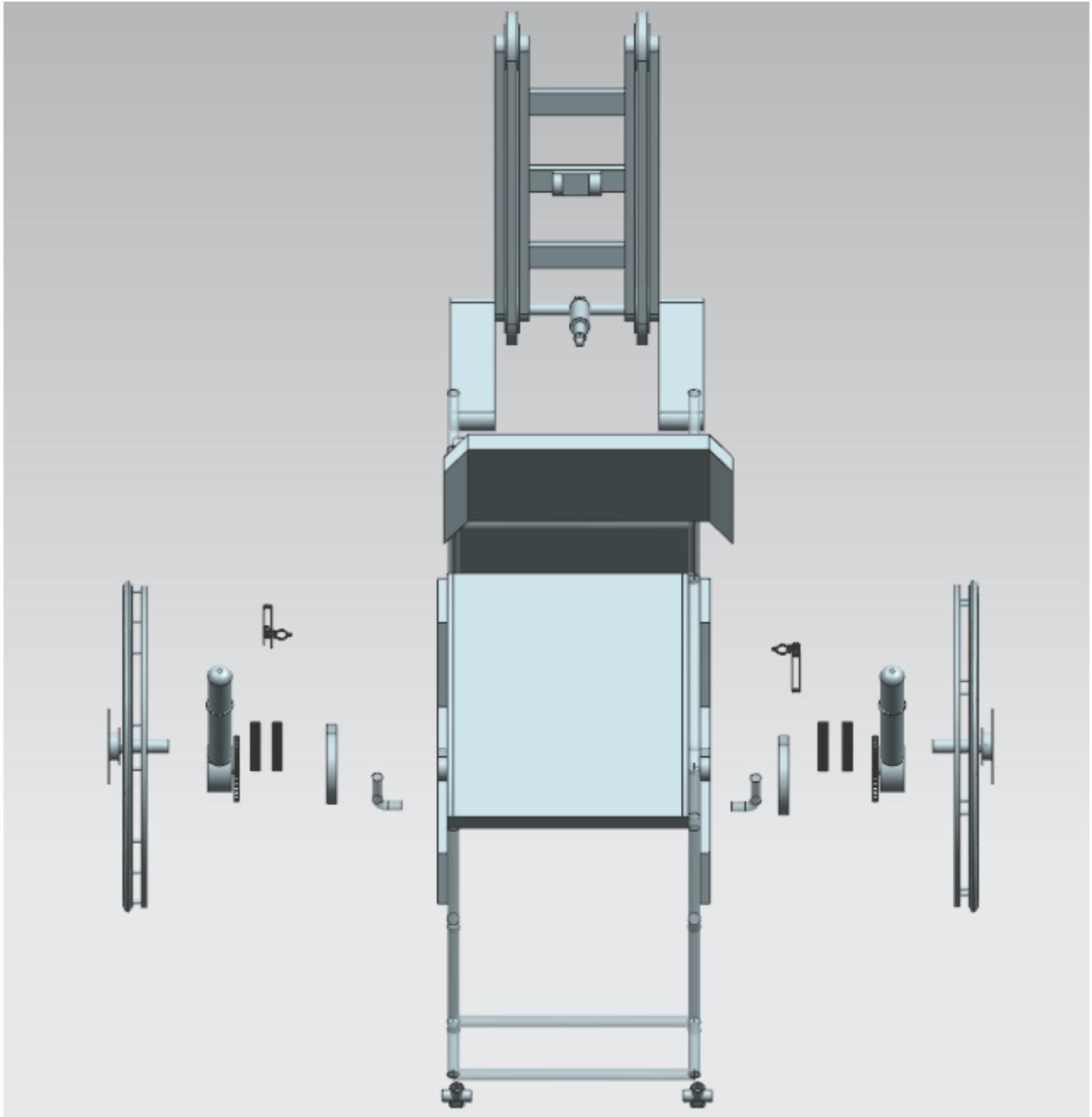


Fig. 4.9 Diagrama explosivo de la silla de ruedas

4.8 Principio de operación de la silla de ruedas

Los principios funcionales de la silla de ruedas son los mismos que una silla de ruedas convencional, con la diferencia de que cuenta con un sistema mecánico, el cual reemplaza los aros de las llantas de las sillas de ruedas normales que se empujan manualmente con un sistema de palanca que el usuario bombea para avanzar, permitiendo incrementar la propulsión regular de los aros de las llantas que se empujan manualmente, lo que significa que los usuarios pueden subir rampas más empinadas y con el sistema de amortiguador oruga permitirá al usuario subir y bajar escaleras con mayor facilidad y libertad.

El sistema de palancas esta acoplado a las llantas mediante cadena y 2 piñones, los cuales le permitirán al usuario cambiar la orientación de giro de las ruedas mediante un mecanismo tipo desviador al momento de girar la parte superior de la palanca, teniendo la posibilidad de ir recto o de reversa, en el caso de la reversa, ayudara al usuario a subir las escalera de espaldas. Para que el usuario pueda avanzar de frente, debe de tener seleccionado el primer piñón (primer cambio) y mover la palanca izquierda y derecha de atrás hacia adelante. Para avanzar de reversa, el usuario tendrá que girar la parte superior de la palanca, para hacer el cambio de piñón y mover las palanca de adelante hacia atrás para poder ir en reversa.

El sistema de amortiguador oruga, permite a la persona una mayor estabilidad y facilidad de manejo al momento de dejarse caer de espaldas en las escaleras para poder subir estas. La oruga está instalada en un eje diferente del de las llantas, ya que esto permite que la oruga solo siga el movimiento de las llantas y solo dependa del giro de las llantas traseras de la silla de ruedas.

Para poder subir las escaleras la persona deberá estar de espaldas a ellas (fig. 4.10), después se dejará caer sobre las escaleras, esto para que la oruga choque con los escalones y la silla quede sobre las escaleras. El usuario deberá tener una mano sujeta al barandal de la escalera y con la otra mano mover la palanca, la cual ya debe de tener seleccionada la opción de reversa. Usará como apoyo el movimiento de la oruga y se empujará con ayuda de su mano con el barandal.

Para bajar las escaleras, el usuario solo inclinará la silla de ruedas y se dejará ir sobre las escaleras, para que la oruga choque contra las escaleras y haya una mejor estabilidad en la silla de ruedas. La velocidad la controlará con los frenos y se apoyará con el barandal de las escaleras.

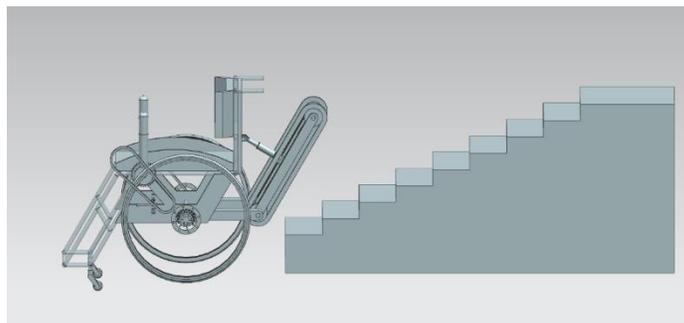


Fig. 4.10 Posición de la silla para subir la escalera

Conclusiones

El objetivo del presente trabajo se logró satisfactoriamente, ya que se llegó a una solución de diseño, con la cual se busca establecer los parámetros de diseño necesarios para la construcción de una silla de ruedas capaz de subir y bajar escaleras, aportando una forma innovadora para hacer de una silla de ruedas un dispositivo el cual permita a su ocupante realizar más actividades gracias a las mejoras añadidas.

Este proyecto se convierte en una opción más entre las sillas de ruedas ya que promete ser un aparato práctico, seguro y con una mayor eficiencia para el ocupante.

Gracias al desarrollo de este trabajo se logró conseguir un gran interés por parte de la empresa START UP MEXICO la cual busca la manufactura y producción de la silla de ruedas con ayuda de la empresa Ingeniería MERT, de la cual soy el co-fundador, para posteriormente lanzarla a la venta.

Trabajo a futuro

Como trabajo a un futuro cercano, se hará la manufactura de este diseño y se probará la silla de ruedas en un nicho de mercado más definido, para la venta al público.

Lo que se busca es mejorar la silla de ruedas, mediante la automatización del movimiento de la silla de ruedas para que se facilite el ascenso y descenso de las escaleras. Además, de poder utilizar el diseño realizado como una base para la creación de sillas de ruedas que puedan ayudar a niños parapléjicos en su rehabilitación.

Bibliografía

1. Pérez, R. (2010). Propuesta de diseño de un mecanismo innovador para una silla de ruedas. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
2. Soriano, C. (2009). Diseño mecánico de dispositivo adaptable para impulsar una silla de ruedas manual. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
3. González, S. (2009). Aplicación de Triz para el diseño de una silla de ruedas geriátrica. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
4. González, S. (2011). Desarrollo de una silla de ruedas innovadora para población geriátrica basado en Triz. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
5. McKeough, M. (2001). Anatomy of a Manual Wheelchair. Shenandoah University. Virginia.
6. Armstrong, W., Borg, J., Krizack, M., Lindsley, A., Mines, K., Pearlman, j., Reisinger, K., Sheldon, S. (2005). Pautas para el suministro de ruedas manuales en entornos de menores recursos. Organización Mundial de la Salud.
7. Pérez, M. (2004). Diseño concurrente de sillas de ruedas para minusválidos. Tesis de Licenciatura. Universidad Central de Venezuela.
8. Dieter, G., Schmidt, L. (2009). Engineering Design. (4° Ed.). New York: McGraw-Hill.
9. Arnal, L., Betancourt, M. (2010). Reglamento de construcciones para el Distrito Federal. (5° Ed.). México: Trillas.
10. Gobierno del Distrito Federal (2007). Manual Técnico de Accesibilidad. Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda. México.
11. Instituto Mexicano del Seguro Social (2000). Normas para la accesibilidad de las personas con discapacidad. (2° ed.). México.
12. Kumar, V., Wellman, P., Krovi, V. (1996). Adaptive mobility system. US5513716.
13. William, J., Smurthwaite, Jr. (2007). Manually driven wheelchair. US7520519 B2.
14. Fought, E. (2004). Suspensión de silla de ruedas con montaje de pivotamiento del motor. ES2372479T3.
15. Meyer, B. (2007). Silla de ruedas que se levanta. ES2284913T3.
16. Giménez, J. (2013). Wheelchair with a mechanism for ascending steps. WO2013093156A1.
17. Zhanyu, L. (2012). Stair climbing device and wheelchair using stair climbing device. CN102805695.
18. Useage. (2001). Wheel chair able to crawl stairs. CN2461518Y.
19. Oxford, S. (1991). All-terrain wheelchair. US5020818A.

20. Häussler, C., Selig, M., Ullrich, R. (2001). Stair climbing vehicle. US6328120B1.
21. Johnson, R., Johnson, D. (1996). Stair climbing wheelchair. US5577567.
22. Kluth, H. (1986). Stair climbing wheelchair. US4569409.
23. Young, M. (2013). Stair-climbing wheelchair. CN102204858A.
24. Welford, A. (2015). Speed and accuracy of movement and their changes with age. Elsevier.

Referencias

Imágenes obtenidas el 10 de Febrero de 2015 de los sitios:

- [1] Evolución de la silla de ruedas. http://portales.puj.edu.co/proyecto_andar/images/pdf/Evolucion_Silla_Ruedas.pdf
- [2] <http://www.medicare.com.mx/Silla%20de%20Ruedas%20Electrica%20DriveGde.jpg>
- [3] http://wheelchairscanjump.com/images/Austria_1960_Paralympics.jpg
- [4] <http://www.gennybarcelona.com/modelos/genny-2-0-urban/>
- [5] <http://tecnomagazine.net/2007/08/29/nuevas-sillas-de-ruedas-reclinables/>
- [6] http://www.core77.com/blog/sustainable_design/case_study_leveraged_freedom_chair_by_amos_winter_jake_childs_and_jung_takenabling_freedom_for_the_disabled_in_developing_countries_18507.asp
- [7] <http://www.neptune-amphibiouschair.com/>
- [8] <http://www.monografias.com/trabajos94/proyecto-silla-ruedas/image012.jpg>
- [9] http://marketing.sunrisemedical.com/education_es/formacion4_archivos/fig1_pag4.gif
- [10] <http://www.monografias.com/trabajos94/proyecto-silla-ruedas/image003.png>
- [11] http://www.guiamovilidad.com/images/stories/fig5_pag4.gif
- [12] http://www.guiamovilidad.com/images/stories/imagenes/fig6_pag4.gif
- [13] http://www.guiamovilidad.com/images/stories/fig8_pag4.gif
- [14] http://www.guiamovilidad.com/images/stories/imagenes/aro_tetra.jpg
- [15] http://www.guiamovilidad.com/images/stories/imagenes/fig12_pag4.gif
- [16] http://www.guiamovilidad.com/images/stories/imagenes/fig14_pag4.gif
- [17] http://www.guiamovilidad.com/images/stories/imagenes/fig15_pag4.gif
- [18] http://www.guiamovilidad.com/images/stories/rep_fijo.jpg
- [19] http://www.guiamovilidad.com/images/stories/reposapie_extraible.jpg
- [20] http://www.guiamovilidad.com/images/stories/reposapie_elevable2.jpg
- [21] http://www.alquileresortopedicos.com/wp-content/uploads/2011/12/Silla-de-ruedas_Acero-rueda-peque%C3%B1a_Asiento_m.jpg
- [22] <http://www.cuiddo.es/media/catalog/product/cache/1/image/650x/040ec09b1e35df139433887a97daa66f/s/i/silla-ruedas-action-3-3.jpg>
- [23] <http://www.silladeruedasengestion.org/sccs/manual.php?id=2>
- [24] <http://www.jaenaccessible.org/documentacion/documentacion/General/Consideraciones%20Biomecanicas%20II.pdf>
- [25] <http://reactiv.com.mx/images/productos/sillas-de-ruedas/manuales/info/silla-de-ruedas-con-comodo-integrado/zoom/silla-de-ruedas-con-comodo-integrado.png>
- [26] <http://tienda.vidaabuelo.com/images/79Silla%20de%20ruedas%20de%20traslado.jpg>
- [27] <http://www.lovethepictures.com/wp-content/uploads/2012/09/Mobi-electric-folding-wheelchair-by-designer-Jack-Martinich-.jpg>
- [28] <http://www.sillasderuedasyequiposmedicos.com.mx/imagenes/sillas-deruedas/SILLA%20%20DE%20RUEDAS%20EN%20COLOR%20ROJO%20RIN%20DE%20ALUMINIO%2014%20Tool%20Free.JPG>
- [29] http://www.latiendadelabuelito.es/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/s/i/silla_ruedas_con_inodoro_de_transporte_ayudas_tecnicas_ortopedia_cuidado_de_ancianos_.jpg

[30] http://www.uk-wheelchairs.co.uk/UserFiles/Image/quickie_life_wheelchair.jpg

[31] <http://tienda.vidaabuelo.com/images/79Silla%20de%20ruedas%20de%20traslado.jpg>

[32] http://img.medicaexpo.es/images_me/photo-g/silla-ruedas-mano-pasiva-89035-5645841.jpg

[33] http://www.wigglestatic.com/product-media/5360074938/shimano_brt670fs.jpg?w=1800&h=1800&a=7

[34] <http://4.bp.blogspot.com/-RZ2IO3HJLb4/T6TvpnnCqOI/AAAAAAAABBo/WV1H1EYefgQ/s1600/Rueda+Silla+Minusvalia.jpg>

[35] http://cdns2.freepik.com/foto-gratis/bicicleta-todo-terreno_2753257.jpg

[36] http://www.tvhamericas.com/images/pn_rubbertrack.jpg

[37] http://img.tedcdn.com/r/images.ted.com/images/ted/9319114f7e3443aa48b393d9a016422110811223_800x600.jpg?ll=1&quality=89&w=800