



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA – DISEÑO MECÁNICO

TRIZ COMO UNA HERRAMIENTA EN EL DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA SILLA DE
RUEDAS INNOVADORA

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ING. ABRAHAM ISAÍAS HERRERA MENDOZA

TUTOR PRINCIPAL
DR. ESPINOZA BAUTISTA ADRIÁN - FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, D.F. Enero 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. González González Leopoldo A.

Secretario: Dr. Dorador González Jesús Manuel

Vocal: Dr. Espinosa Bautista Adrián

1^{er}. Suplente: M.I. Zepeda Sánchez Antonio

2^{d o}. Suplente: DR. Ramírez Reivich Alejandro C.

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Ciudad Universitaria, México, D.F.

TUTOR DE TESIS:

NOMBRE

FIRMA

A mi familia, por siempre estar.

Con especial dedicatoria para ti, el estudiante curioso que desempolvo este trabajo, espero que en las siguientes páginas además de información encuentres motivación suficiente para concluir tu trabajo.

Contenido

Objetivo	1
Justificación	1
Hipótesis.....	1
Metodología:.....	1
Silla de ruedas	2
Sillas activas y ortopédicas.....	2
Sillas eléctricas	3
Clasificación de Usuarios.....	3
Infecciosas.....	3
Enfermedades diversas	3
Congénitas.....	3
Falta de oxigenación cerebral	3
Quemaduras.....	3
Por riesgo de trabajo.....	4
Quirúrgicas	4
Latrogénicas	4
Hereditarias.....	4
Accidentales	4
Edad Avanzada	4
Usuarios Temporales.....	5
Lesión medular.....	5
Evolución de las sillas de ruedas	6
El entorno en México	8
Infraestructura	9
Situación Económica	10
La discapacidad motora en la edad.....	11
Partes de una silla de ruedas	12
Llantas traseras	12
Aros propulsores	12
Rines traseros.....	12
Ruedas delanteras.....	12
Frenos.....	12
Descansa pies	12
Asientos.....	13
Cojines.....	13

Chasis.....	13
Descansa brazos.....	13
Mecánica de la silla de ruedas	13
Centro de gravedad.....	14
Resistencia al rodamiento.....	15
Vibraciones.....	15
Distancia entre ejes.....	15
Angulo de las ruedas traseras	16
Principales maniobras	16
Propulsión	16
Frenado	16
Girar.....	17
Dos puntos	17
Subir y bajar rampas.....	18
Subir banquetas	19
Bajar banquetas	19
Subir y bajar escaleras.....	20
Sillas de Ruedas Deportivas.....	21
Problemas de salud asociados al uso de sillas de ruedas	22
Osteoporosis y osteoartritis:.....	22
Espasticidad:.....	22
Lesiones por esfuerzos repetitivos:.....	22
Ulceras por presión:	22
Disfunciones urinarias:.....	22
Espacios abiertos.....	22
Banquetas y rampas.....	22
Medidas antropométricas.....	26
Introducción a TRIZ	28
Inercia psicológica	29
Método de Prueba y error	29
TRIZ.....	30
Que es un sistema tecnológico	30
Herramientas disponibles dentro de TRIZ.....	31
Contradicciones.....	31
Contradicción técnica:.....	32
Contradicción física:	32

Idealidad.....	33
Tendencias de evolución.....	34
Recursos	34
40 principios.....	34
Principios.....	35
Matriz de contradicciones.....	36
Parámetros.....	36
Niveles de inventiva	37
Breve valoración de TRIZ y de sillas de ruedas existentes	38
Silla de Ruedas Plegable Autopropulsable SRPA.....	40
Silla de ruedas eléctrica (SRE)	42
Motor acoplable.....	44
IBOT3000.....	46
Valoración:	50
Diseño.....	50
Pahl and Baitz.....	51
Clarificación del objetivo.....	51
Diseño conceptual.....	51
<i>Embodiment design</i>	51
Diseño de detalle.....	51
David G. Ullman.....	51
Definición y planeación del proyecto.....	51
Definición de especificaciones	51
Diseño conceptual.....	51
Desarrollo del producto	51
Soporte de producto	51
Ulrich-Eppinger.....	51
Identificar las necesidades del cliente	51
Establecer las especificaciones objetivo	52
Generación de conceptos.....	52
Selección del concepto.....	52
Prueba del concepto	52
Establecer especificaciones finales	52
Planeación del proyecto.....	52
Diseño conceptual de una silla de ruedas.....	52
Identificación de necesidades	53

Especificaciones objetivo	54
Generación de conceptos.....	55
Identificación de problemas.....	55
Contradicciones.....	56
Contradicciones físicas	57
Recursos	57
Sistema ideal	57
40 principios	58
<i>Solución</i>	58
Tendencias de evolución.....	61
Selección de conceptos:.....	69
Evaluación con necesidades.....	69
Evaluación con el sistema ideal.....	71
Trabajo futuro	72
TRIZ en el diseño	73
Conclusiones:	74
Referencias.....	75

Objetivo

Profundizar en el área de TRIZ y aplicar las herramientas de TRIZ en el proceso de diseño de una silla de ruedas innovadora.

Justificación

Se eligió como caso de estudio las sillas de ruedas porque la esperanza de vida de la población incrementa con el paso del tiempo, al mismo tiempo que lo hacen las condiciones de salud que llevan a las personas a requerir de una ayuda técnica para moverse, como lo son las sillas de ruedas.

Adicionalmente se observa que se han diseñado una gran variedad de sillas de ruedas, sin embargo, muchas de ellas no llegan al mercado, quedándose en patentes o ideas. Mientras que las que logran entrar al mercado tienen muy pocas innovaciones, como se verá más adelante al estudiar la evolución de las sillas de ruedas y algunos productos existentes en el mercado.

TRIZ es un conjunto de herramientas que sirven para identificar problemas y encontrar soluciones. Con esto en mente podemos conjuntar el proceso de diseño y TRIZ para encontrar innovaciones que puedan impactar al mercado de forma importante en un futuro.

Para TRIZ existen cinco niveles de inventiva, siendo el primero el nivel en el que existe poca innovación y el cinco el más innovador. Las herramientas de TRIZ nos ayudan a llegar a un nivel entre dos y cuatro, lo que motiva a aplicarlo al diseño de una silla de ruedas.

Para tener una breve valoración de TRIZ, se analizarán tres conceptos de sillas de ruedas que ya están en el mercado. Comparando los resultados de este análisis y el éxito de estas sillas de ruedas se le podrá dar el mérito a TRIZ en caso de que así sea.

Hipótesis

Si se analizan los productos existentes en el mercado con las tendencias de evolución, entonces se descubrirá que las sillas de ruedas con menos éxito son las que tienen más contradicciones, no siguen una evolución natural y no tienen una conexión con su entorno. Mientras que las sillas con más éxito tendrán menos contradicciones.

Si se aplican las herramientas de TRIZ en la búsqueda de innovaciones de una silla de ruedas, entonces se llegará a un concepto que tenga características para cautivar a los usuarios de forma importante.

Metodología:

Para la realización de este trabajo se llevaron a cabo los siguientes pasos.

1. Estudiar las sillas de ruedas y sus usuarios.
2. Estudiar las herramientas de TRIZ.
3. Analizar con las herramientas de TRIZ los conceptos más innovadores de sillas de ruedas.
4. Aplicar las herramientas de TRIZ al proceso de diseño de una silla de ruedas.

Silla de ruedas

Las sillas de ruedas son sistemas que ayudan a las personas con alguna discapacidad motora a interactuar con su entorno. Cada discapacidad requiere un tipo de silla especial y accesorios, tanto para propulsión como para comodidad del usuario, como se verá más adelante. Las discapacidades que llevan a una persona a usar una silla de ruedas se pueden clasificar en temporales y permanentes (INEGI, 2004).

Por otra parte, el entorno en el que la persona se desea desenvolver es un factor muy importante para seleccionar el tipo de silla de ruedas (Redondo, 1999).

Existen dos principales tipos en los que se pueden clasificar la mayoría de las sillas de ruedas por el tipo de propulsión: manuales y eléctricas.

- Las sillas de ruedas manuales se llaman así porque la propulsión es realizada por completo por el usuario y/o el asistente. Dentro de esta clasificación se pueden encontrar las sillas ortopédicas y las activas entre otras.
- Las sillas de ruedas eléctricas cuentan con un motor y fuente de poder que asisten al usuario durante la propulsión parcial o totalmente

También se pueden clasificar por las adaptaciones que se les hacen para diferentes usuarios con distintas necesidades

Actualmente hay más de 200 modelos diferentes de sillas para los discapacitados motorices (Redondo, 1999).

Sillas activas y ortopédicas.

Las sillas de ruedas activas cuentan con una angulación en las ruedas traseras (i.e. camber) que les da mayor estabilidad y maniobrabilidad en comparación con una silla ortopédica, cuentan con un respaldo pequeño que está por debajo de los omoplatos, con el fin de no obstruir el movimiento de los brazos para la propulsión.

El peso es un factor importante en este tipo de sillas de ruedas y el material con el que se fabrican es más ligero en comparación con otras sillas de ruedas. Para aligerar aún más este tipo de silla, se eliminan los accesorios que una silla ortopédica pudiera tener, o simplemente se hacen más esbeltos y en consecuencia menos cómodos, por ejemplo, los descansa pies están en una posición fija y carecen de acojinamiento, y tampoco cuentan con manillares para ser empujados por un asistente.

Este tipo de silla tiene un estilo minimalista y permite ser transportada con facilidad. Además cuentan con un mecanismo que permite ajustar la posición del eje trasero con el fin de equilibrar la silla de ruedas según las necesidades del usuario. Este mecanismo es útil cuando se trata de un usuario que ha perdido una extremidad y su centro de gravedad se ve afectado, por lo tanto es necesario ajustar el eje trasero.

En algunos casos cuentan con suspensión y un mecanismo para plegar.

Las sillas activas están diseñadas para un usuario con buena movilidad en cintura, espalda, brazos, que tienen capacidad para autopropulsarse y que desea llevar una vida más independiente.

Cuando una persona requiere de un soporte importante en espalda brazos y piernas, se recomienda usar una silla de tipo ortopédica, ya que tienen un asiento más grande y son más cómodas y estables a volcaduras durante una transferencia hacia una silla, cama u otro.

Sillas eléctricas

Por otra parte se encuentran las sillas de ruedas eléctricas que como su nombre lo indica cuentan con una fuente de poder y un motor eléctrico que ayuda a la propulsión. Dentro de este tipo de sillas se pueden encontrar las que se controlan con un comando especialmente diseñadas para personas con una discapacidad mayor o con una importante necesidad para transportarse por largas distancias y más rápido.

Por lo general este tipo de sillas de ruedas son robustas y cuentan con un asiento y descansa pies reclinable, debido a que el peso deja de ser un factor importante en su diseño.

En esta misma categoría de sillas eléctricas podemos encontrar a las sillas que asisten con un motor eléctrico al usuario mientras este se impulsa, con este tipo de ayuda el esfuerzo requerido para impulsarse es compartido entre el motor eléctrico y el usuario.

Clasificación de Usuarios.

Existen diversas causas que llevan a una persona a necesitar una silla de ruedas, a continuación se lista la clasificación que propone el INEGI (INEGI, 2004) y se menciona la lesión medular al final con más detalle.

Infeciosas

Son ocasionadas por virus, bacterias, microbios, protozoarios y cualquier microorganismo huésped del ser humano (amputaciones, lesiones medulares, lesión cerebral, poliomielitis, etc.).

Enfermedades diversas

Ocurren en cualquier momento de la vida por predisposición de la persona o como consecuencia a la exposición de algún factor causal (artritis reumatoide, enfermedad de Parkinson, esclerosis múltiple, etc.).

Congénitas

Se presentan durante la gestación o en el momento mismo del parto (ausencia de alguna extremidad, parálisis cerebral, etc.).

Falta de oxigenación cerebral

Como consecuencia de privación de oxígeno o deficiente irrigación del cerebro, la parálisis cerebral puede ser una consecuencia.

La parálisis cerebral es una lesión en el sistema nervioso central que compromete las neuronas responsables del movimiento del cuerpo, aunque la mayoría de las personas asocian la parálisis cerebral con un retardo mental, en la mayoría de los casos solo las funciones motoras son afectadas, por lo que el coeficiente intelectual permanece intacto (Campagnolle, 1998).

Para usuarios con este tipo de lesión la silla de ruedas se vuelve una ayuda íntima (Redondo, 1999).

Quemaduras

Pueden deberse a factores térmicos o químicos que traen como consecuencia una amputación.

Por riesgo de trabajo

Como consecuencia de exposición a sustancias tóxicas o temperaturas extremas, químicos y posiciones de estrés articular amputación, lesión de la médula espinal, anquilosis, hipotrofia muscular, etcétera).

Quirúrgicas

Pueden ser radicales o transitorias ya sea que se haga una resección total de una extremidad o que como consecuencia de una cirugía en forma temporal el sujeto muestre una discapacidad motriz (fracturas, amputación, lesión de la médula espinal, lesión cerebral, etcétera).

Latrogénicas

Pueden ser consecuencia de una cirugía en donde haya existido un manejo inadecuado del personal de salud, o a consecuencia de prescripción de un medicamento por ejemplo- que ocasione una secuela incapacitante (lesión cerebral, lesión de la médula espinal, amputación, etcétera).

Hereditarias

Se transmiten genéticamente la descendencia (distrofiamuscular, esclerosis múltiple, miopatías)

Accidentales

Puede presentarse en cualquier momento de la vida como consecuencia del ritmo acelerado, especialmente en las grandes ciudades, pueden ser previsibles. Su nulo o mal manejo durante el proceso agudo puede incrementar las secuelas incapacitantes (amputaciones, lesiones de la médula espinal, lesión cerebral, etcétera).

Para el caso de las amputaciones la persona usa una prótesis que tiene como principal función reemplazar la parte anatómica ausente. Sin embargo, en algunos casos como los amputados vasculares a nivel del muslo prefieren utilizar silla de ruedas que prótesis (Ocampos, 1999).

En el caso de amputados bilaterales a nivel de muslo, piernas o mixtos siempre requerirán de una silla de ruedas, pero presentan problemas para mantener el equilibrio de tronco en sedestación y con un riesgo de caída hacia adelante.

El uso de cinturón de seguridad es importante para revertir problemas de equilibrio e incluso se pueden colocar pesos en los descansa pies para dar mayor estabilidad a la silla de ruedas que ha quedado con un centro de gravedad desplazado hacia atrás (Ocampos, 1999).

Edad Avanzada

Durante la tercera edad muchas personas ven disminuidas sus capacidades físicas debido a la edad y a enfermedades que se graban durante esta etapa de la vida. Muchas de las personas que pasan por esta etapa se ven en la necesidad de usar una silla de ruedas, esto se incrementa con los años debido a que la esperanza de vida aumenta y con ella lo hacen las enfermedades.

Algunas recomendaciones para estos usuarios son (Ocampos, 1999):

Respaldo: En el caso de ancianos con poco control muscular es preciso que cuenten con un asiento sólido y no con el asiento común, que por lo general está hecho de materiales flexibles. Debe existir un apoyo lumbar apropiado y con la mejora en la postura, la función respiratoria también mejorará.

Asiento: Debe contar con una superficie de apoyo máxima para prevenir úlceras por presión.

Apoyabrazos: móviles para facilitar transferencias a cama, sillón, baño, etc.

Descansa pies: proporcionan protección y una posición adecuada por largos periodos de tiempo.

Usuarios Temporales

Los usuarios temporales son personas que solo necesitaran de la silla de ruedas mientras se rehabilitan ya que no presentan secuelas y regresan a su estado previo de actividad.

Lesión medular

Se produce por la interrupción de una porción de la medula espinal, y sus causas pueden ser traumáticas, malformaciones y lesiones inflamatorias y degenerativas.

Cuando ocurre una lesión medular completa, las funciones por debajo de la lesión se pierden y en lesiones incompletas solo algunas funciones se pierden por debajo de ella. Cada nivel de lesión requiere de sillas de ruedas con características especiales (ver figura 2).

Las lesiones debidas a traumatismos son ocasionadas principalmente por accidentes automovilísticos, accidentes deportivos, zambullidas en aguas poco profundas, armas de fuego y accidentes de motocicletas (Campagnolle, 1998).

Las secuelas de las lesiones medulares se pueden clasificarse como sigue:

- Monoplejia: 1 miembro
- Paraplejia: 2 miembros inferiores
- Triplejia: 3 miembros inferiores
- Cuadriplejia: 4 miembros
- Hemiplejia: 2 miembros de un mismo lado
- Diplejia: 2 miembros inferiores y en menos grado los superiores

La hemiplejia trae consigo un problema importante para el uso de sillas de ruedas autopropulsables, ya que solo un brazo puede moverse. Para solucionar este problema se han diseñado sillas de ruedas en las que se cuentan con dos aros propulsores del lado del miembro valido, cada uno de los aros controla la propulsión de cada rueda.

Nivel de lesión	Tipo de silla
Lesión medular C1-3	Silla eléctrica con respirador portátil y sistema de control con mando mentoniano o de chupar y soplar
Lesión medular C4	Silla eléctrica con mando mentoniano o de chupar y soplar
Lesión medular C4-5 o C5	Silla eléctrica con mando tipo «joystick» manual. Silla manual en interiores con modificaciones en los aros
Lesión medular C6	Silla manual con modificaciones en los aros tipo pivotes. Puede necesitar silla eléctrica en exteriores
Lesión medular C7-8	Silla de ruedas manual estándar, sin modificaciones en los aros
Lesión medular dorsal o lumbar alta	Silla de ruedas manual estándar, con altura de respaldo según nivel de lesión
Lesión medular por debajo de L3-4	Puede caminar independientemente con ayudas técnicas o no

Figura 2. (López, 1999)

Con la información anterior podemos darnos una idea de las lesiones que llevan a una persona a requerir de una silla de ruedas y también podemos observar que existe una gran cantidad de tipos usuarios y necesidades muy específicas, ya que cada lesión se manifiesta de forma diferente en cada individuo.

Evolución de las sillas de ruedas

A continuación se describirán brevemente los avances más importantes que han tenido las sillas de ruedas.

Es difícil establecer cuando surgió la primera silla de ruedas debido a la función principal de este sistema es la de transportar al usuario, así pues los primeros carruajes se podrían considerar como las primeras sillas de ruedas.

El primer caso de silla que tiene más parecido a lo que conocemos en la actualidad, fue la que se fabricó para El Rey Felipe II de España en 1595, quien la usaba como un artículo de lujo, y era propulsada por un sirviente. Tenía cuatro ruedas pequeñas, descansa pies y un sistema para reclinar el asiento (ver figura 3).



Figura 3 (<http://www.minusval2000.com>)

En 1665 un relojero alemán construyó para su propio uso una silla de ruedas que se propulsaba con un mecanismo similar a los pedales de una bicicleta y este movimiento se transmitía a la rueda frontal (ver figura 4).



Figura 4 (<http://www.minusval2000.com>)

En 1783 aparece la silla Bath denominada así por la ciudad en Inglaterra que la vio nacer, contaba con un asiento hecho de mimbre y con 3 ruedas, usualmente se colocaban las ruedas frontales de mayor diámetro con las que el usuario se podía propulsar (ver figura 4).



Figura 4 (<http://www.minusval2000.com>)

Durante los siguientes años se lograron mejoras dadas principalmente por la evolución de los materiales y su disponibilidad en el mercado.

Las sillas que surgieron durante los años de 1800 empezaron a incorporar rines de acero y neumáticos de goma con el fin de mejorar el peso.

Para 1933 Herbert A. Everest inventó el mecanismo de tijera capaz de plegar una silla de ruedas, este mecanismo se sigue usando hasta la actualidad (ver figura 5).



Figura 5 (<http://www.minusval2000.com>)

Algunas de las sillas de ruedas modernas controlan eléctricamente la propulsión, posición del asiento, y ofrecen una mayor comodidad al usuario, mientras que las sillas autopropulsables ofrecen una gran diversidad de diseños y accesorios (ver figura 6) como se verá más adelante.



Figura 6 (<http://www.sunrisemedical.es>)

Al observar la evolución que han tenido las sillas nos podemos dar cuenta que los componentes y su funcionamiento son básicamente los mismos, y los principales avances se dan en el uso de materiales modernos.

Las llantas de caucho y rines de acero fueron producto de la evolución de otro sistema de mayor demanda que fue la bicicleta y de este modo para las sillas eléctricas podemos esperar que las baterías mejoren como consecuencia de las investigaciones en energía eléctrica, como: automóviles eléctricos, casas solares, etc.

La evolución de las sillas de ruedas ha obedecido también al entorno en el que los usuarios se desean desarrollar, existen sillas muy pequeñas ideales para pasillos o muy grandes para practicar deportes. En la siguiente sección se da un panorama del entorno en el que un usuario mexicano se debe desenvolver.

El entorno en México

En esta sección se presentara la información estadística de la población mexicana relacionada con la infraestructura a la que tienen acceso y situación económica, lo que nos permitirá entender el tipo de barreras arquitectónicas, características del terreno por el cual debe circular una silla de ruedas y la situación económica de los usuarios.

Causas de discapacidad

Los motivos que producen discapacidad en las personas pueden ser variados como se ha mencionado anteriormente, pero el INEGI en este estudio los clasifica en cuatro grupos de causas principales: nacimiento, enfermedad, accidente y edad avanzada (INEGI, 2010).

De cada 100 personas con discapacidad:

- 39 la tienen porque sufrieron alguna enfermedad.
- 23 están afectados por edad avanzada.
- 16 la adquirieron por herencia, durante el embarazo o al momento de nacer.
- 15 quedaron con lesión a consecuencia de algún accidente.
- 8 debido a otras causas.

Porcentaje de la población con discapacidad según dificultad en la actividad (Año 2010).

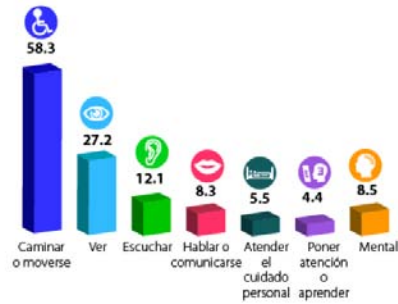


Figura 7 (INEGI, INEGI, 2010)

La figura 7 presenta gráficamente el porcentaje de discapacidad por grupos.

La discapacidad de Caminar o moverse es relevante para este trabajo y el INEGI la define como sigue:

La discapacidad para 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; incluye también a quienes teniendo sus piernas no tienen movimiento o presentan restricciones para moverse, de tal forma que necesitan ayuda de otras persona, silla de ruedas u otro aparato, como andadera o pierna artificial.

Infraestructura

Según el censo del 2010 realizado por el INEGI (INEGI, 2010) existen 3,347,849 personas con limitación para moverse o caminar, a continuación se expone la información relacionada con el medio en el que se debe desarrollar un usuario de silla de ruedas en nuestro país.

Las causas que llevan a una persona a usar silla de ruedas se representan porcentualmente en la tabla 1.

Nacimiento	Enfermedad	Accidente	Edad avanzada	Otra causa	No especificado
6,74%	42,88%	18,72%	25,45%	4,72%	1,49%

Tabla 1

El siguiente estudio (Tabla 2) muestra la cantidad de manzanas que hay en el país y la cantidad de ellas que cuenta con rampa para silla de ruedas.

Total de manzanas ¹	Disponibilidad de rampa para silla de ruedas			
	Todas las vialidades	Alguna vialidad	Ninguna vialidad	No especificado
1.129.728	44.278	113.913	958.476	13.061

Tabla 2

De aquí se puede observar que la mayoría de las banquetas en el país no cuentan con una rampa para silla de ruedas.

La tabla 3 muestra la cantidad de viviendas, población y manzanas con disponibilidad de banqueta. Podemos observar que la mayoría de la población cuenta con acceso a banqueta, que es el principal medio donde una silla de ruedas se debe desplazar.

Unidad de análisis	Total de manzanas, sus viviendas y población ¹	Disponibilidad de banqueta			
		Todas las vialidades	Alguna vialidad	Ninguna vialidad	No especificado
Manzanas	1.129.728	385.657	421.691	309.502	12.878
Viviendas	24.713.974	10.609.353	10.749.983	3.194.858	159.780
Población	77.757.728	32.471.567	34.217.676	10.637.836	430.649

Tabla 3

Unidad de análisis	Total de manzanas, sus viviendas y población ¹	Disponibilidad de pavimento			
		Todas las vialidades	Alguna vialidad	Ninguna vialidad	No especificado
Manzanas	1.129.728	484.815	420.652	209.684	14.577
Viviendas	24.713.974	12.655.852	9.930.560	1.934.323	193.239
Población	77.757.728	39.033.005	31.779.501	6.414.827	530.395

Tabla 4

La disponibilidad de pavimento está dada por la tabla 4 y de igual manera muestra que la mayoría de la población tiene acceso a circular por una calle pavimentada.

Con la información anterior podemos darnos cuenta del terreno por el que un usuario debe moverse en nuestro país, la mayoría cuenta con banquetas y pavimento, sin embargo, el estado real en el que se encuentran y el diseño de banquetas dificulta el desplazarse en silla de ruedas.

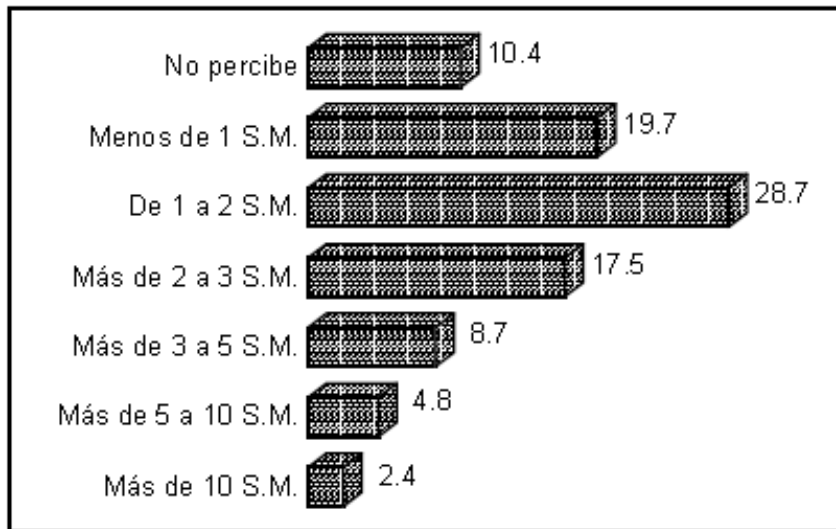
Aunado a esto tenemos las pocas rampas que existen en todo el país y la mayoría de las que existen tienen un diseño inadecuado; en pendiente y textura.

La poca disponibilidad de rampas se traduce en mayor distancia que el usuario debe recorrer para encontrar una, y con esto se enfrenta a más obstáculos y desgaste físico.

Aunque el número de habitantes con necesidad de silla de ruedas es grande, no lo es lo suficiente como para que sea factible modificar el entorno a favor de ellos. Entonces la principal forma para brindar mayor autonomía es que el usuario y su silla de ruedas se adapten a las condiciones existentes.

Situación Económica

La figura 8 muestra la gráfica que agrupa a las personas con discapacidad para moverse o caminar porcentualmente con respecto a sus salarios.



NOTA: No se graficó a las personas que no especificaron su ingreso por trabajo (7.8%).

Figura 8. (INEGI, 2010)

Con esta información podemos darnos una idea de la situación económica de los usuarios mexicanos y del precio que están dispuestos a pagar por una silla de ruedas.

La discapacidad motora en la edad

La siguiente grafica+ muestra la distribución de la discapacidad motora porcentual por grupos de edad y sexo.

Se puede observar que conforme aumenta la edad la probabilidad de adquirir una discapacidad aumenta.

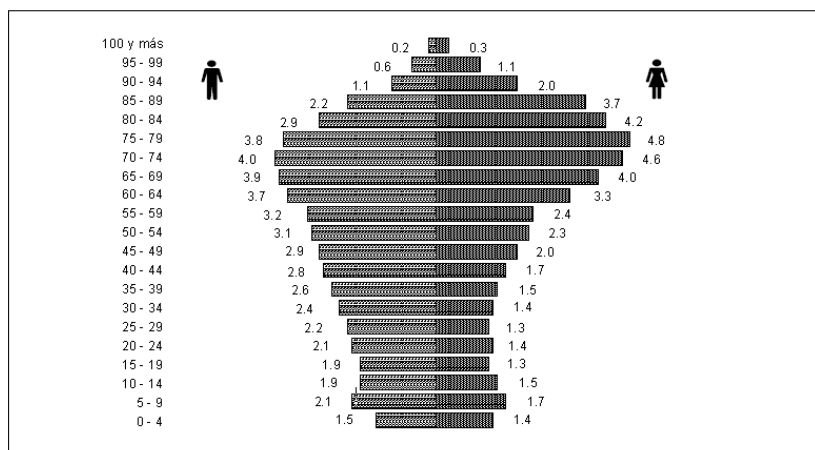


Figura 9. (INEGI, 2010)

El entorno y la discapacidad son un factor importante a la hora de seleccionar la silla de ruedas que se va a utilizar y los accesorios con que se deben contar. En la siguiente sección se mencionan las partes más importantes de una silla de ruedas y sus accesorios.

Partes de una silla de ruedas

Cada parte de la silla de ruedas realiza una función importante y es importante que se seleccionen adecuadamente para darle mayor comodidad al usuario.

Enseguida se mencionan las partes y sus características

Llantas traseras

Las llantas de 24", 25" y 26" son las más comunes y existen diversos tipos que van desde llantas macizas que ofrecen una resistencia al rodamiento muy baja y neumáticas que brindan mayor confort por su capacidad para absorber irregularidades del terreno. La llanta más moderna es la neumática que no necesita de cámara, lo que la hace más ligera y cómoda.

Aros propulsores

Son los aros que se acoplan a las ruedas traseras para que los usuarios puedan colocar sus manos y propulsarse. Existen en dos materiales principalmente; acero y plástico.

Rines traseros

Existen en plástico, acero y aluminio principalmente. Las de aluminio absorben mejor las irregularidades del terreno pero necesitan ajuste en los radios y las de plástico son más pesadas y libres de mantenimiento.

Se pueden fijar al chasis mediante ejes de desconexión rápida con el fin de desmontarlas más fácil y transportarlas.

Ruedas delanteras

Estas ruedas se orientan solas en la dirección que se mueva la silla de ruedas y son mucho más pequeñas que las ruedas traseras. Existen en medidas desde las tres pulgadas hasta las ocho pulgadas. Las ruedas más pequeñas se orientan con mayor facilidad pero se enganchan en obstáculos pequeños mientras que las ruedas más grandes pasan con mayor facilidad.

Frenos

Existen dos tipos de frenos principalmente, los que son operados por el usuario y los que son usados por el asistente. En el caso de los que son usados por el usuario son de tipo zapata y presionan las ruedas traseras. Para los que son operados por el asistente son muy parecidos a los frenos de una bicicleta.

Descansa pies

Los descansa pies pueden ser desmontables, regulables y fijos. Cuando se tiene un espacio muy pequeño para circular conviene que estos sean movidos a una posición más retraída para reducir el tamaño de la silla o facilitar transferencias.

El uso de descansa pies correctamente ayuda a distribuir el peso del usuario en un área más grande y previene llagas siempre y cuando la altura sea correcta como para llevar el peso de las piernas hacia adelante y aliviar el peso sobre las tuberosidades isquiáticas.

Asientos

La mayoría cuenta con un respaldo fijo y con una leve inclinación de alrededor de 5 grados hacia atrás con el fin de que el usuario no resbale hacia adelante. Para sillas plegables son de materiales flexibles como vinil, mientras que para las sillas eléctricas y no plegables se cuentan con asientos rígidos y más cómodos.

La altura del respaldo dependerá de la movilidad que el usuario tenga en el tronco, entre menor movilidad mayor altura del respaldo.

Cojines

Los cojines son los encargados de distribuir de la mejor manera la presión entre el usuario y el asiento, su correcto uso evita la aparición de úlceras y absorbe vibraciones pequeñas. Existen en dos materiales principales en su interior; aire y gel.

Chasis

Existen diversas formas y materiales para un chasis, el más común es el chasis de acero plegable, sin embargo, existen de aluminio, fibra de carbono y titanio rígidos. Siendo estos los más costosos. La principal ventaja es su ligereza y la forma de responder a las vibraciones.

Descansa brazos

Algunas sillas de ruedas como las activas no cuentan con descansa brazos, ya que obstruyen el movimiento de propulsión, pero las sillas ortopédicas si los tienen desmontables y fijos.

El uso de los descansa brazos alivia la presión que ejerce el asiento y son una ayuda importante a la hora de hacer transferencias.

Con la información anterior podemos observar que existe una gran variedad de componentes con el fin de satisfacer diversas necesidades. Sin embargo, la compatibilidad entre muchos componentes no existe, lo que hace que la mayoría de los usuarios tengan que comprar varias sillas de ruedas para satisfacer las necesidades del día a día.



Figura 9.1 (<http://www.tempur.com.mx>)

Mecánica de la silla de ruedas

Las sillas de ruedas poseen diferentes características que les brindan diferentes comportamientos dinámicos, a continuación se listan las características más importantes.

Centro de gravedad

En una silla de ruedas activa se puede ajustar el eje trasero para cambiar la posición que el centro de gravedad tiene con respecto a las ruedas. Cuando se coloca el centro de gravedad exactamente a la mitad entre el eje trasero y las ruedas delanteras entonces el peso que soporta cada rueda es el mismo (Figura 10).

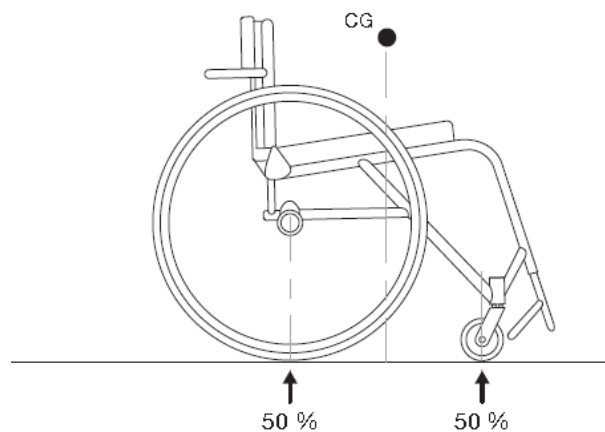


Figura 10 (BREMER & OHLSON, 2013)

Cuando el eje trasero se acerca al centro de gravedad entonces el peso que este soporta es mayor al que soportan las ruedas delanteras. Como se muestra en la figura 11.

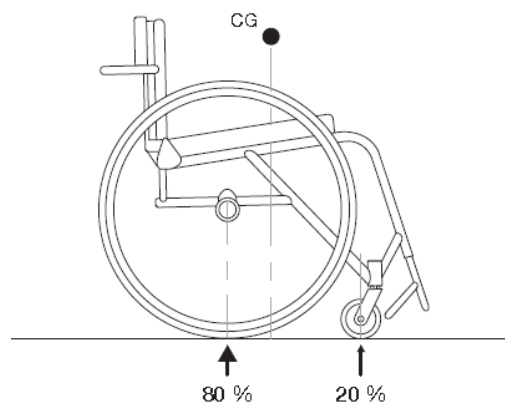


Figura 11 (BREMER & OHLSON, 2013)

Cuando se ajusta el eje para que el mayor peso quede soportado por las ruedas traseras se gana maniobrabilidad y es más fácil superar obstáculos con las ruedas delanteras. Al mismo tiempo se facilita hacer la maniobra de dos puntos que consiste en equilibrar la silla sobre el eje trasero dejando las ruedas frontales suspendidas en el aire, con esta maniobra es posible subir pequeños obstáculos, ya que las ruedas frontales de menor diámetro presentan muchas dificultades para rodar sobre bordes o salientes.

Para usuarios con pocas habilidades en el uso de silla de ruedas es necesario ajustar el eje en una posición más estable (más atrás del centro de gravedad), debido a que en una pendiente o en una aceleración grande se puede voltear hacia atrás. Existe un accesorio llamado antivuelco que previene estas situaciones, sin embargo, este accesorio compromete la maniobrabilidad y es poco frecuente su uso.

Resistencia al rodamiento

La resistencia al rodamiento en una silla de ruedas se ve incrementada cuando se utilizan ruedas frontales pequeñas y blandas.

Por lo general se desplaza el eje de la silla de ruedas hacia delante con el fin de que el mayor peso caiga sobre las ruedas traseras y de mayor diámetro (menor resistencia al rodamiento).

Vibraciones

Existe un rango (4Hz a 6 Hz) de frecuencia en el que los órganos de una persona entran en resonancia y causa una gran incomodidad (Watanabe, Mobility management, 2009).

Las vibraciones son algo que el usuario va a sentir todo el tiempo mientras se traslade y están asociadas a problemas de salud.

Las vibraciones que un pavimento muy rugoso le transmite a un usuario son suficientes como para provocar espasticidad y tienen un efecto acumulativo.

Las vibraciones también tienden a sacar al usuario de su posición óptima y causarle dolores en cuello, espalda, hombros y codos.

Los sistemas de suspensión ayudan a absorber las vibraciones de baja amplitud y alta frecuencia, sin embargo, las vibraciones de frecuencias bajas y amplitudes grandes que se sufren cuando se cae en un bache o tope se transmiten al usuario por completo (Watanabe, Mobility management, 2013).

Adicionalmente a esto los sistemas de suspensión absorben la energía de la propulsión y cansan más al usuario y su asistente.

Distancia entre ejes

Cuando una silla de ruedas tiene una distancia entre ejes grande se vuelve menos maniobrable, pero al mismo tiempo se vuelve más estable a volcaduras hacia adelante o hacia atrás. En sillas deportivas esta distancia es grande y en sillas diseñadas para pasillos y lugares estrechos es pequeña.

Angulo de las ruedas traseras

Con el fin de ganar más estabilidad y evitar volcaduras hacia los lados, se ponen las ruedas traseras con un ángulo (camber) que puede ser muy pronunciado en sillas deportivas y menor en sillas activas que va de 1º a 5º. En sillas ortopédicas este ángulo es de cero.

Las características que se mencionaron antes se tienen que tomar en cuenta para poder superar obstáculos con más facilidad. Enseguida se explicaran las principales maniobras que se pueden realizar en una silla de ruedas.

Principales maniobras

Existen diversas maniobras que se pueden realizar, a continuación se explican las más importantes:

Propulsión

El usuario debe impulsarse colocando las manos en el punto más alto de los aros propulsores y empujar hacia adelante, al mismo tiempo que echa el tronco hacia adelante con el fin de evitar saltos de las ruedas frontales, causadas por la aceleración. Cuando el usuario no puede mover el tronco es necesario que mueva la cabeza hacia adelante. Los movimientos de propulsión pueden realizarse con las dos manos al mismo tiempo o alternadamente.

Al iniciar el movimiento conviene hacer movimientos cortos y frecuentes, y una vez que se ha adquirido velocidad es mejor realizar movimientos largos y amplios (ver figura 12).

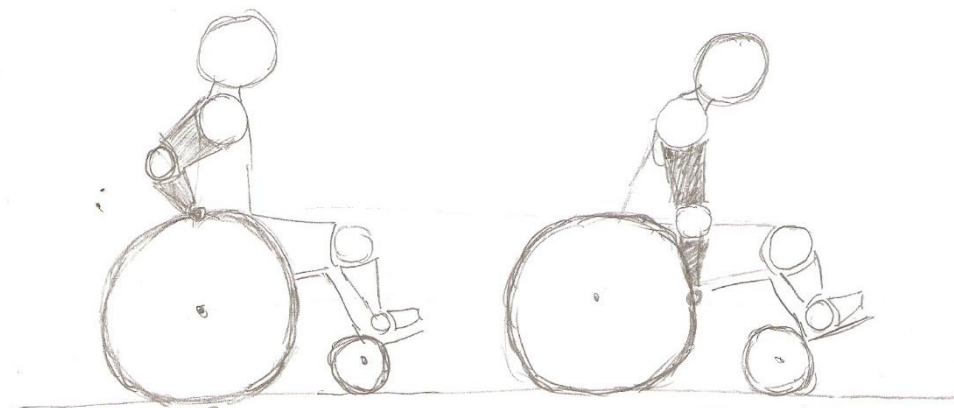


Figura 12

Frenado

Para frenar la silla cuando esta está en movimiento se debe sujetar el aro propulsor del punto más bajo posible, con el fin de que los brazos queden lo más extendidos posible, al mismo tiempo se debe echar el cuerpo hacia atrás para evitar una volcadura hacia adelante (ver figura 13).

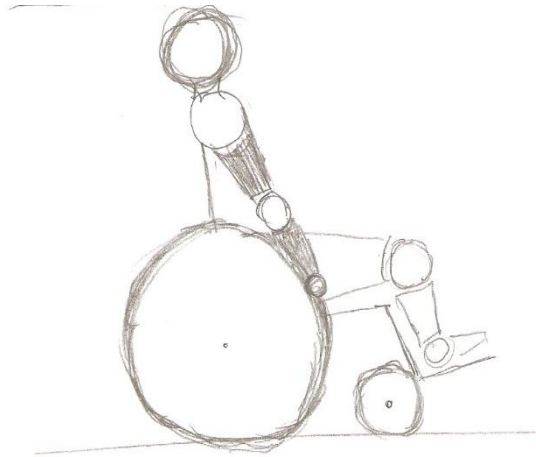


Figura 13

Girar

Cuando se quiere girar en movimiento, se puede frenar la rueda del lado al que se quiere ir y echando el cuerpo hacia esa dirección con el fin de evitar una volcadura lateral. Si se requiere girar cuando la silla está en reposo, entonces se tienen que hacer girar las ruedas en sentido contrario, y si existe el suficiente espacio entonces se puede girar una sola rueda (ver figura 14).

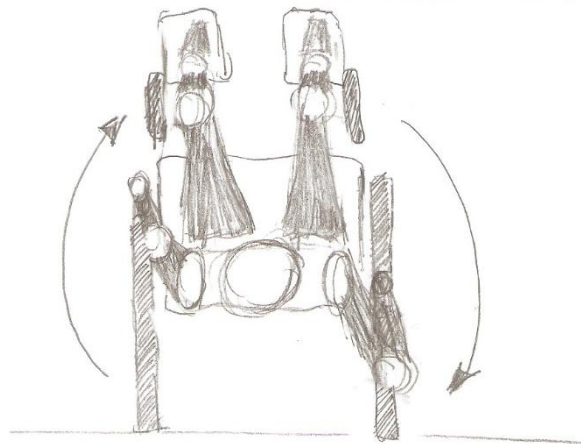


Figura 14

Dos puntos

Esta maniobra consiste en colocar la silla apoyada en las ruedas traseras mientras las dos ruedas frontales se mantienen en el aire. Esta maniobra es la más importante y es la base para muchas otras maniobras, como la de superar banquetas.

Cuando el usuario no tiene las habilidades para realizar esta maniobra es ayudado por un asistente para realizarla y superar obstáculos (ver figura 15).

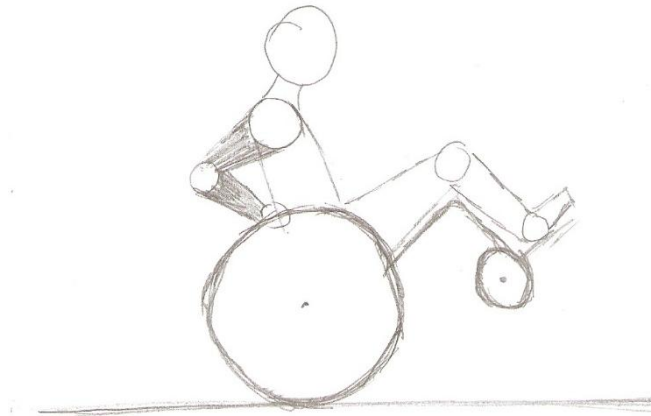


Figura 15

Subir y bajar rampas

Cuando la pendiente de la rampa es adecuada el usuario puede autopropulsarse en ella y superarla, pero en la mayoría de las ocasiones las pendientes son muy pronunciadas lo que lleva a necesitar de un asistente.

Si el ancho de la rampa es lo suficientemente grande su puede subir haciendo un zigzag sobre ella, con lo que se logra subir en varios pasos y disminuye el esfuerzo que se debe realizar.

Para bajar rampas el usuario debe atacarla de frente y echar su torso hacia atrás, mientras frena suavemente con los brazos totalmente extendidos. Si la pendiente es pronunciada y/o el suelo es muy irregular, se tiene que hacer la maniobra de dos puntos y controlar la bajada con los aros propulsores (ver figura 16).

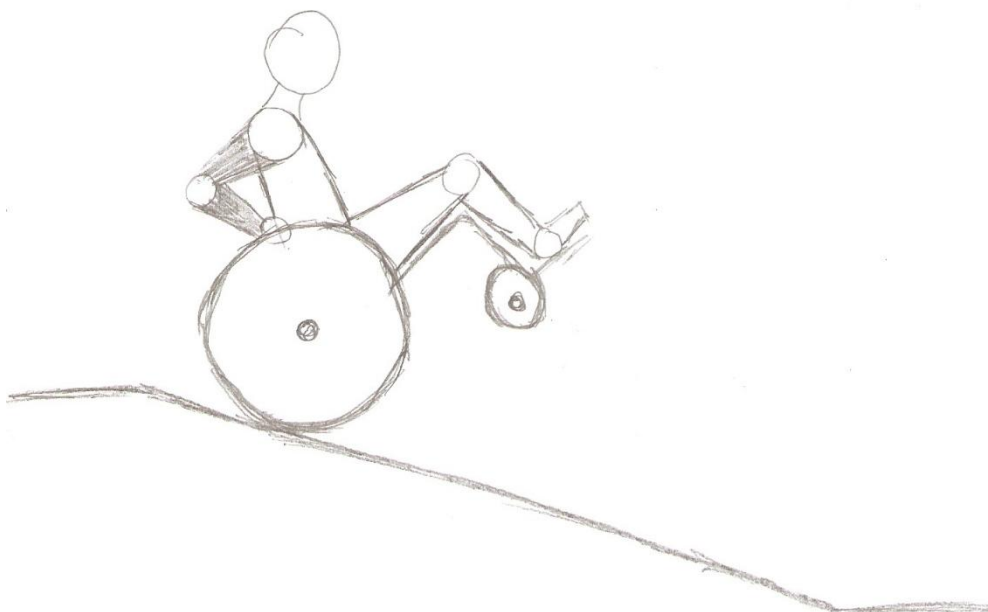


Figura 16

Subir banquetas

Para subir banquetas con ayuda de un asistente se procede a colocar las ruedas frontales junto a la banqueta y posteriormente el asistente hará la maniobra de dos puntos y colocara las ruedas frontales sobre la banqueta, para subir las ruedas traseras el asistente debe empujar con fuerza la silla. Cuando no se tiene la ayuda de un asistente se tiene que impulsar hacia la banqueta con suficiente velocidad y justo cuando las ruedas frontales estén por alcanzar la banqueta se tiene que realizar la maniobra de dos puntos (sin frenar) para colocar las ruedas frontales sobre la banqueta y así el impulso adquirido ayudara a elevar las ruedas traseras sobre ella (ver figura 17).

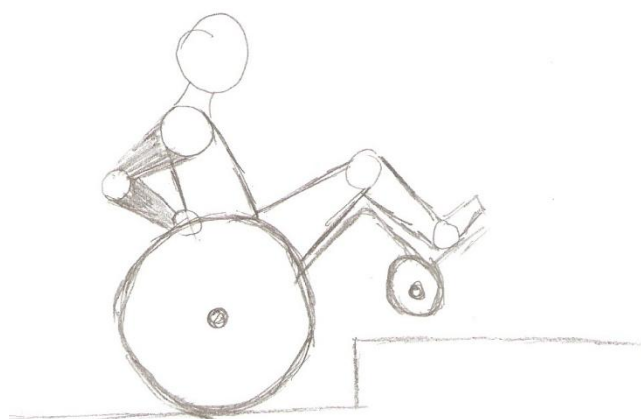


Figura 17

Bajar banquetas

Con la ayuda de un asistente se colocaran las ruedas traseras apuntando hacia el desnivel, posteriormente el asistente tendrá que bajar la silla aplicando fuerza para que sea un descenso lento y seguro. Cuando no se tiene un asistente entonces se puede bajar de dos formas. La primera es de frente realizando la maniobra de dos puntos y controlando la bajada con las ruedas traseras. Mientras que la segunda y más usada por personas con pocas habilidades en la silla de ruedas, consta de bajar hacia atrás, echando el tronco hacia adelante para evitar una volcadura hacia atrás y controlando el descenso con los aros propulsores en las ruedas traseras (ver figura 18).

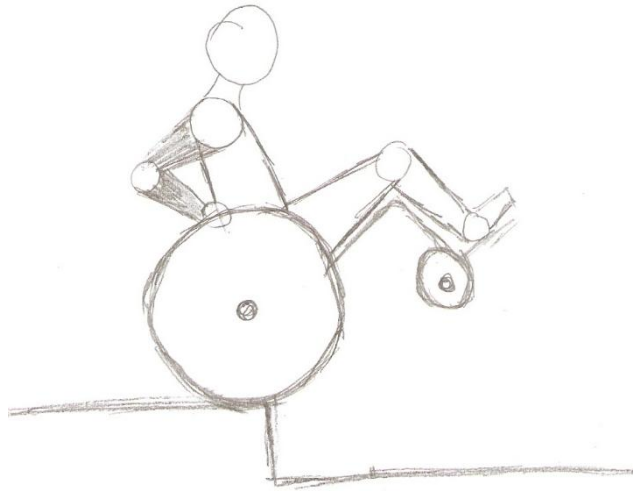


Figura 18

Subir y bajar escaleras

Esta maniobra requiere de muchas habilidades y fuerza cuando no se realiza con la ayuda de un asistente, y consta de subir de espaldas a la escalera ayudándose por el barandal, para bajar se requiere hacer la maniobra de dos puntos y controlar el descenso por cada escalón con los aros propulsores (ver figura 19).

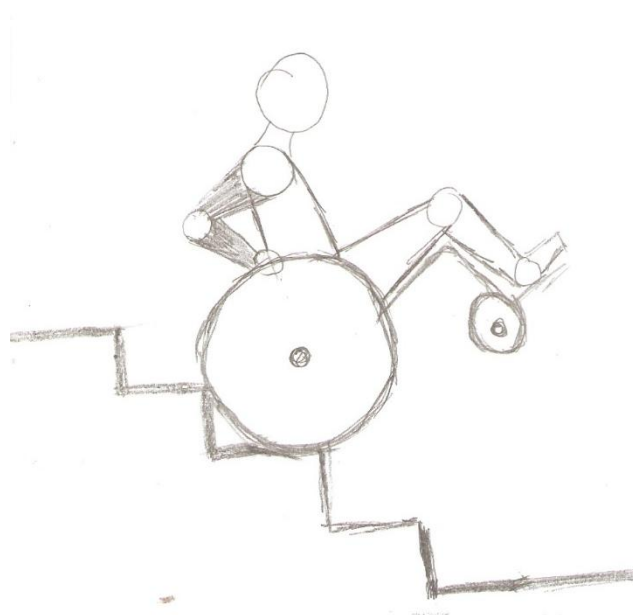


Figura 19

Sillas de Ruedas Deportivas

En esta sección se describe la silla de ruedas que es usada para realizar deportes como tenis y basquetbol (ver figura20). Estas sillas cuentan con capacidades de maniobrabilidad altas por las exigencias del deporte.

La gran maniobrabilidad que poseen viene por las siguientes características.

El centro de gravedad de la silla de ruedas está muy cerca al eje de giro, esto le da la posibilidad al usuario de girar con menos esfuerzo, sin embargo, la principal desventaja es que es muy fácil volcar hacia atrás (Ver figura 10 y 11).



Figura 20 (www.oracing.es)

Las ruedas delanteras son muy pequeñas debido a que son sillas que son usadas en entornos muy controlados como canchas de tenis o basquetbol y es muy difícil que se encuentren con un obstáculo.

El ángulo de las ruedas traseras es muy pronunciado, con este ángulo la base de la silla aumenta de forma considerable y la vuelve muy estable a volcaduras laterales.

Para evitar volcaduras hacia atrás se incorpora una quinta rueda detrás de las ruedas traseras.

Las dimensiones en general este tipo de sillas de ruedas son más anchas y largas mientras que su altura es inferior para lograr más estabilidad.

Son fijas y no poseen accesorios o articulaciones para plegarse a diferencia de una silla ortopédica, ya que las uniones de mecanismos y accesorios reducen la eficiencia de la propulsión.

Estas sillas fueron diseñadas para usarse por periodos cortos de tiempo, por lo que es innecesario un mecanismo para plegarlas, empuñaduras para ser propulsadas por un asistente, apoya brazos y descansa pies con acojinamiento, etc.

Problemas de salud asociados al uso de sillas de ruedas

El permanecer en una silla de ruedas por largos periodos de tiempo trae consigo problemas de salud que principalmente se deben a la posición que adopta el usuario y a los movimientos necesarios para propulsarse. A continuación se mencionan algunos padecimientos asociados al uso prolongado de la silla de ruedas (Sanz, 2003).

Osteoporosis y osteoartritis: La falta de actividad física y de movimientos provocan que los huesos disminuyan su densidad y el mantener una posición por mucho tiempo contribuye a que se reduzcan las amplitudes de los movimientos, produciendo rigideces.

Espasticidad: Se produce por una anormal, exagerada, respuesta al reflejo de estiramiento, por lo que se produce una contracción muscular tras un estímulo, a veces mínimo.

Lesiones por esfuerzos repetitivos: Son afecciones que se presentan cuando se realizan movimientos de forma repetida y por largos periodos de tiempo. Los usuarios de sillas de ruedas muestran estas lesiones principalmente en codos y hombros debido a la propulsión.

Ulceras por presión: Las úlceras o escaras por presión se presentan debido a la presión que existe en los tejidos ocasionada por una superficie y los huesos, lo que provoca poca circulación de sangre e incluso puede llevar a la muerte de los tejidos.

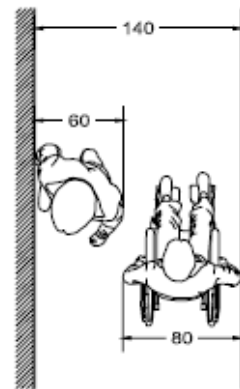
Disfunciones urinarias: Principalmente ocasionadas por infecciones repetidas y mantenidas debido al mal funcionamiento de la eliminación de la orina.

Espacios abiertos

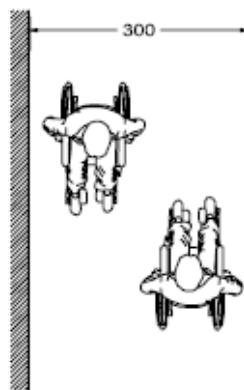
Banquetas y rampas

El diseño universal es el diseño de productos y entornos para ser utilizados por todas las personas, al máximo posible, sin adaptaciones o necesidad de un diseño especializado (SEDUVI, 2007)

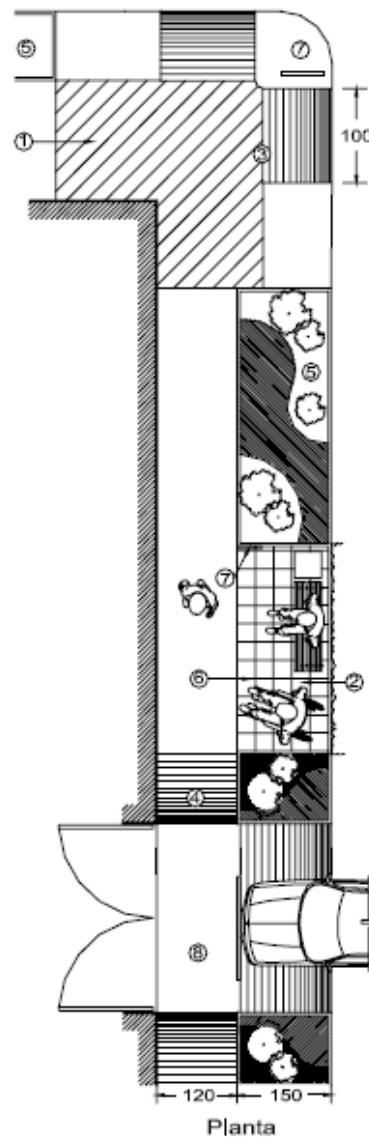
Las banquetas y rampas que cumplen con un diseño universal tienen la siguiente distribución y medidas según el manual de accesibilidad del GDF (Ver figuras 21, 22, 23).



Ancho mínimo libre para banquetas
Planta



Ancho recomendable
Planta



Especificaciones:

1. Área libre de obstáculos para utilizar la rampa.
2. Área de descanso donde sea posible, con espacio para silla de ruedas y ubicación de mobiliario urbano. Ver EA 02.
3. Pavimentos continuos con cambio de textura en rampas.
4. En entradas de autos hacer rampas laterales con 6% de pendiente sobre la banqueta.
5. Espacio para mobiliario urbano o jardín.
6. Las juntas en el pavimento y rejillas serán de un máximo de 1.3 cm.
7. Señalización de rampa, poste u otro elemento urbano.
8. Nivel de banqueta no modificado en un ancho de 120 cm. a partir del alineamiento hacia el arroyo vehicular.

Figura 21 (SEDUVI, 2007)

7.3.8 Rampas EL 08

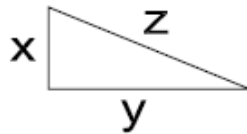
Recomendaciones.

- En exteriores evitar la acumulación de agua en descansos, al inicio y al final de las rampas.
- IDEAL: Si la pendiente es del 6%, la longitud máxima será de 600 cm.¹⁵
- Si la pendiente es del 5%, la longitud máxima será de 1000 cm.¹⁶
- Si la pendiente es del 8%, la longitud máxima será de 600 cm.¹⁷
- El ancho de los descansos deberá ser igual o mayor al ancho de la rampa.

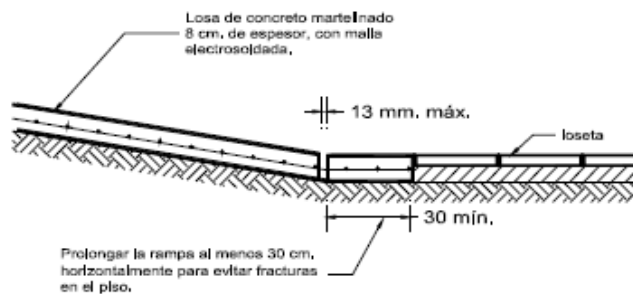
Nota: La pendiente (z) es la relación entre la altura de la pendiente (x) y la longitud (y) y se expresa en %. $Z = x/y$

Ejemplo: Altura $x = 20$ cm.
 Longitud $y = 250$ cm.
 Pendiente $z = x/y = 20/250 = 0.08$
 Es decir: La pendiente es del 8%.

Relación longitud/altura= pendiente



Detalle de unión de rampa con otro material



Nota, los materiales pueden variar.

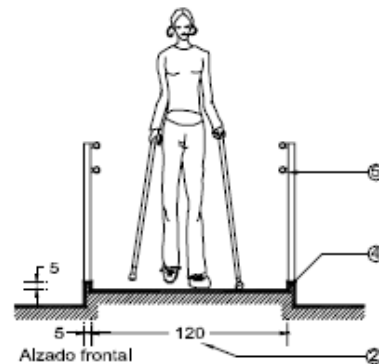
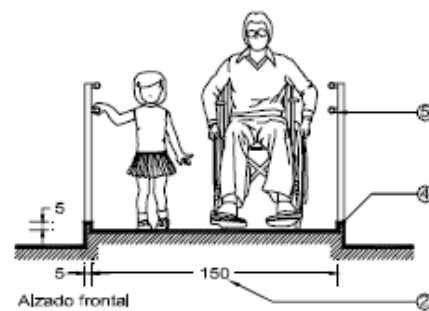
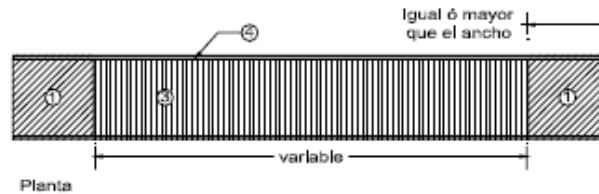
EL 08

Los edificios y espacios abiertos de uso público deberán contar con rampas para la comunicación entre los diferentes niveles de acceso al público y estar debidamente señalizados. Todos los edificios de uso público deberán proporcionar alternativas de comunicación vertical (elevadores y/o rampas) a las personas con discapacidad. Siempre que exista una diferencia de nivel entre la calle y la entrada principal, deberá existir una rampa debidamente señalizada.

Figura 22 (SEDUVI, 2007)



Vista sagital Izquierda



Especificaciones:

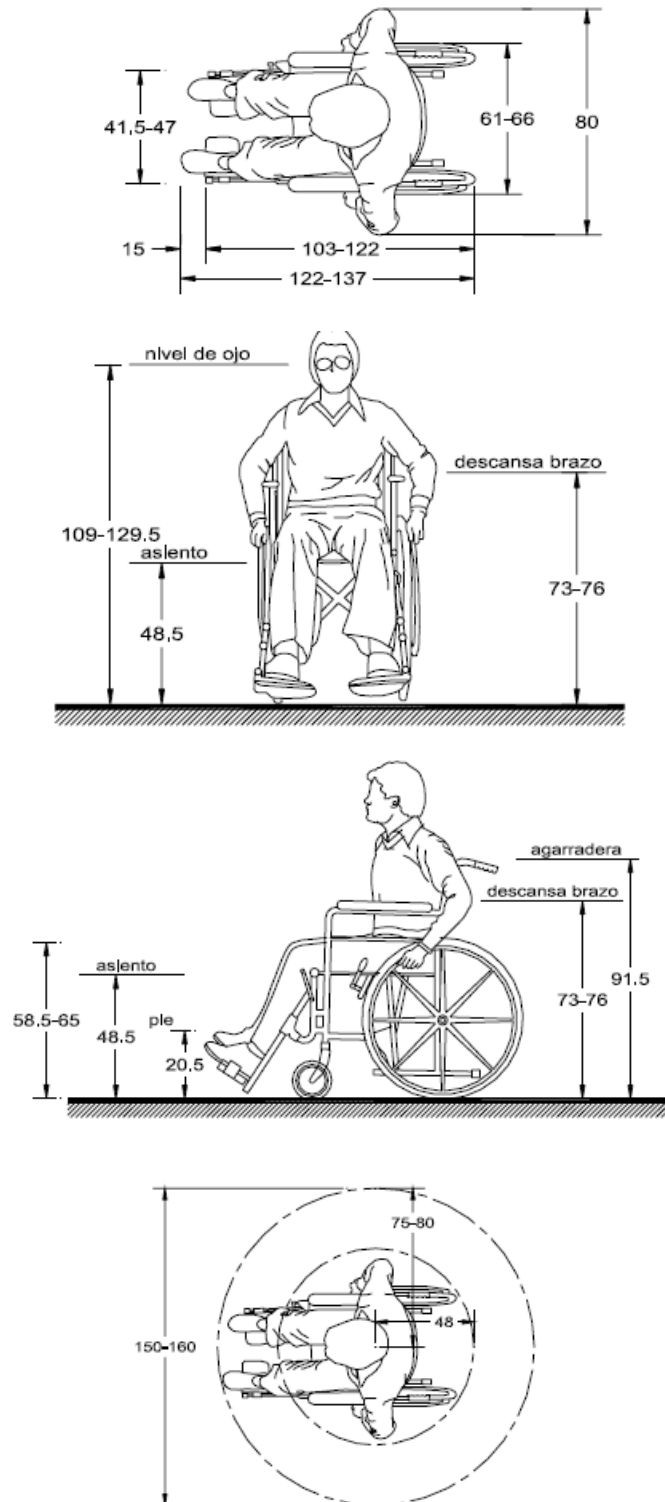
1. Cambio de textura al principio y final de la rampa para señalización a ciegos y débiles visuales. En este espacio no se colocará mobiliario urbano ni otro elemento. Estas áreas deberán estar libres de encharcamiento.
2. Ancho mínimo de 120 cm. cuando exista otra alternativa de circulación vertical (elevador) y un ancho mínimo de 150 cm. cuando sea la única alternativa de circulación vertical.
3. Piso firme uniforme y antiderrapante. Pendiente adecuada del 6% con longitud máxima de 600 cm. que se podrá incrementar hasta el 8%.
4. Bordes laterales de 5 cm. de altura en rampas.
5. Barandales a ambos lados en rampas, uno a 90 cm. y otro a 75 cm. de alto para niños, personas de talla baja y en silla de ruedas.

Figura 23 (SEDUVI, 2007)

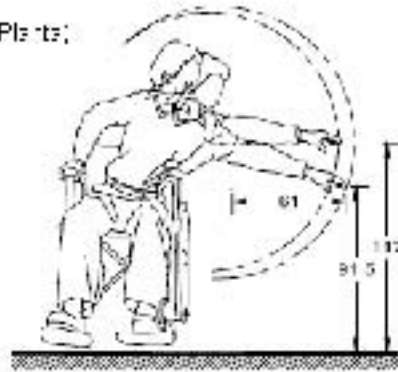
La situación real de los espacios difiere mucho de lo que se menciona en el manual del GDF, ya que como se vio en las estadísticas del INEGI, se menciona que un porcentaje muy pequeño de las casas tienen acceso a una rampa para silla de ruedas.

Medidas antropométricas

Las medidas antropométricas son usadas para diseñar espacios y mobiliario ergonómico. El GDF considera las siguientes medidas para usuarios en silla de ruedas (ver figura 24).

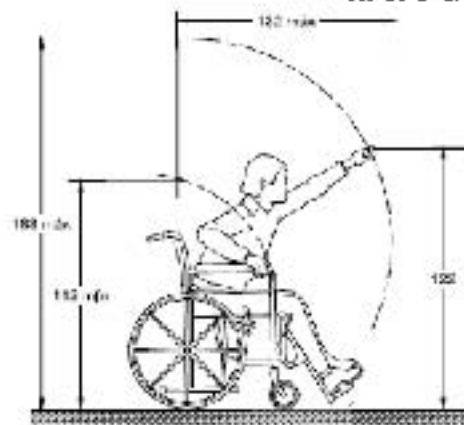


... (Plants);

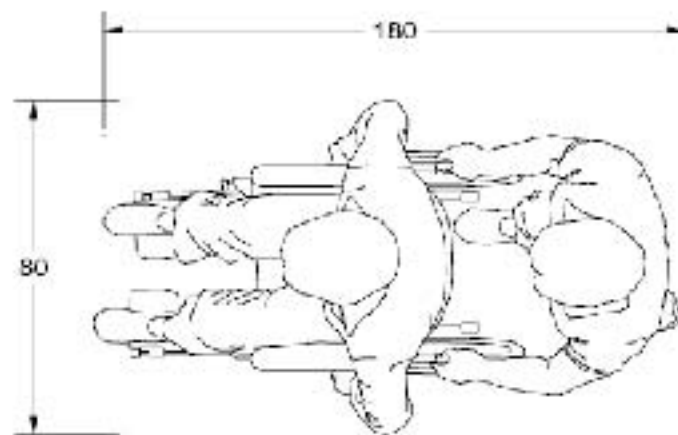


Vista lateral (ver el Anexo 4 de este libro)

... (Plants);



**PERSONA EN SILLA DE RUEDAS
CON ACOMPAÑANTE**



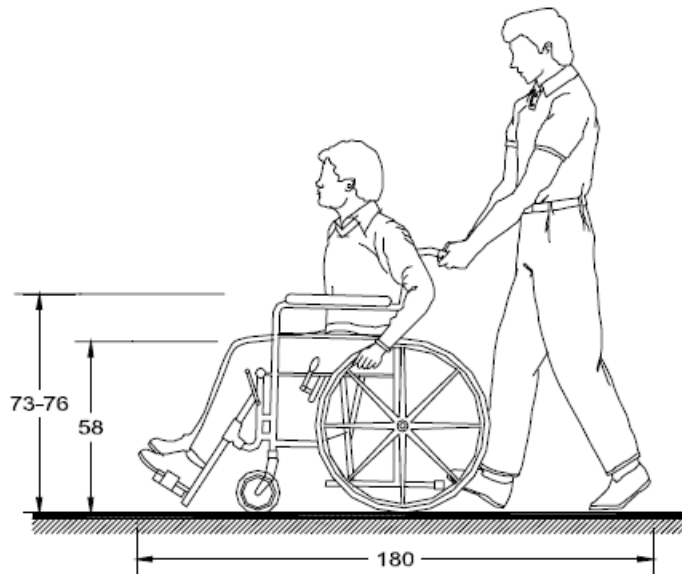


Figura 24 (SEDUVI, 2007)

Introducción a TRIZ

Un “problema” se define como la distancia que existe entre una situación inicial y la situación deseable (Savransky, 2000). TRIZ es un conjunto de herramientas que sirven para resolver problemas casi siempre relacionados con sistemas tecnológicos aunque también se ha usado en el campo de los negocios y la administración.

Para resolver un problema se tiene que seguir un paso o varios pasos dependiendo la complejidad del problema, con estos pasos la situación actual se podrá transformar en una situación ideal o por lo menos más cercana a esta.

Para muchos problemas la solución es conocida, es decir, los pasos a seguir para resolverlo son todos conocidos y no requieren de un esfuerzo creativo mayor, por ejemplo, problemas matemáticos sencillos, escribir o andar en bicicleta, sin embargo, existen problemas llamados “problemas Técnicos” para los que al menos uno de los pasos es desconocido, este tipo de problemas se conocen como problemas de inventiva dentro de la metodología TRIZ.

La figura 25 busca mostrar la estructura que tiene un problema.

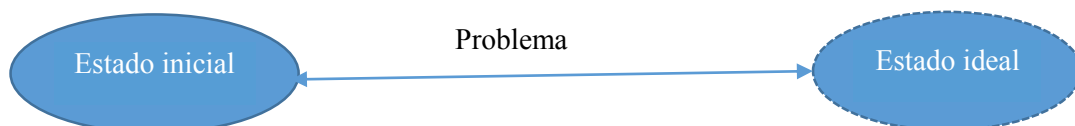


Figura 25

El estado inicial es el estado presente o del cual se va a partir para llegar a un estado ideal. En el

estado ideal se encuentra el sistema que satisface todas las necesidades sin generar nuevos problemas.

El problema tiene dos tipos de soluciones, la primera es la solución ideal que hace coincidir los dos estados, eliminando toda la distancia (problema) entre uno y otro, esta solución es por lo general inalcanzable, mientras que la segunda solución es la que puede ser alcanzable pero solo disminuye la distancia entre un estado y otro (ver figura 26).

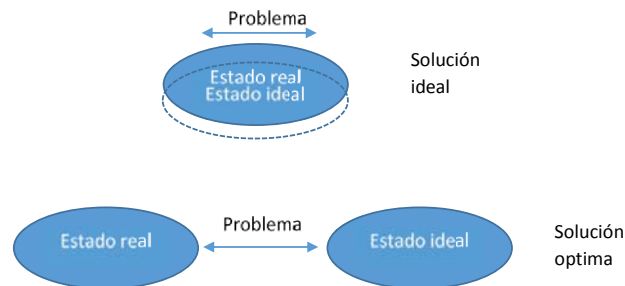


Figura 26

Las soluciones técnicas deben cubrir los siguientes tres requerimientos (Savransky, 2000):

- Físicamente posible (respetar las leyes de la naturaleza)
- Técnicamente posible (corresponder a los recursos ,habilidades científicas y técnicas de la sociedad)
- Económicamente viable

Inercia psicológica

El proceso de resolución de un problema depende de los conocimientos de la persona, es decir, dos personas siempre tendrán su propia idea de los pasos que son necesarios para resolverlos, esto se ve influenciado por la formación que tiene cada persona (experiencia). Este fenómeno se conoce como inercia psicológica. Una persona tiene formas de solucionar problemas que ha adquirido a través del tiempo, como por ejemplo el cómo andar en bicicleta, como sujetar un lápiz, como resolver un problema aritmético. Aunque esta forma de resolver problemas nos ahorra tiempo en problemas sencillos, por lo general al intentar resolver problemas creativos, esta forma de pensar resulta negativa, pues se pierden de vista muchas otras soluciones que puedan resultar útiles (Savransky, 2000).

Método de Prueba y error

El método de prueba y error o método científico es la forma más común en que una persona suele resolver problemas, y es viable para problemas sencillos y no muy complejos, ya que este proceso puede resultar en pérdida de tiempo y dinero debido a que este método busca el aprendizaje mediante la experimentación (Savransky, 2000).

La principal barrera de este método es la inercia psicológica, debido a que la persona cuenta con sus conocimientos y su intuición para buscar información y solucionar el problema. Esta debilidad fue observada y se intentó corregir mediante: técnicas de activación de la creatividad como

diagramas morfológicos, cuestionarios, etc. Sin embargo, es un método que sigue dependiendo de un gran número de intentos para llegar a una solución viable.

Una persona que quiera resolver un problema con el que este familiarizado llegara a una solución en un menor número de intentos que aquel que no lo está. Esto se debe a que ya ha aprendido cual es el camino correcto y empezara a solucionar el problema muchos pasos adelante que la persona sin estudio del problema.

La teoría TRIZ propone aprovechar el conocimiento que miles de inventores han plasmado en sus patentes, y ponerlo a disposición de cualquier persona que requiera solucionar un problema. De esta manera teóricamente cualquier persona se ahorrara muchas iteraciones y llegara a una solución viable.

De aquí que la cualidad más fuerte que tiene un Diseñador es la de poder “apagar” su inercia psicológica (Savransky, 2000).

Los principales pasos que sigue una metodología para resolver problemas son los siguientes:

- Entender el problema por completo
- Identificar y evaluar todas las soluciones
- Seleccionar las mejores soluciones
- Demostrar que la solución resuelve el problema y comprobar la solución
- Documentar el proceso de resolución de problemas

TRIZ

TRIZ es el acrónimo en ruso de “Teorija Rezhenija Izobretatelskikh of Inventive Problem Solving” y surgió gracias a Genrich Saulovich Altshuller quien trabajó en la oficina de patentes de su país.

Durante este trabajo analizo cientos de patentes con lo cual formulo esta teoría que propone diversas formas de analizar un problema y resolverlo sin la necesidad de ser una persona creativa. Es decir, extrajo los métodos para solucionar problemas que usaron (conscientemente o inconscientemente) los desarrolladores de estas patentes para ponerlos al alcance de cualquier persona que quiera solucionar un problema.

Cabe mencionar que estas patentes analizadas no son cualquier patente, son aquellas que corresponden a un nivel de inventiva alto, como se verá más adelante.

Esta teoría cuenta con varias herramientas elaboradas por el mismo Altshuller y más tarde por otros entusiastas de esta teoría.

A continuación se definirá lo que es un sistema tecnológico, ya que las soluciones que aporta TRIZ van encaminadas a mejorar sistemas tecnológicos.

Que es un sistema tecnológico

Un sistema tecnológico es un conjunto de subsistemas ordenados, que interactúan para lograr funciones específicas. Tiene propiedades y comportamientos diferentes que cada uno de sus subsistemas por separado.

Un sistema tecnológico consta de los siguientes dos elementos.

- Subsistemas: son las partes que conforman al sistema.

- Uniones (links): Son las uniones entre subsistemas y el canal por el cual se pueden transmitir campos (mecánico, químico, óptico, etc.), sustancia, información entre subsistemas.

En un sistema tecnológico se pueden encontrar diferentes tipos de funciones, las cuales se listan debajo.

1. Función principal: Es la función para la que fue creado el sistema tecnológico.
2. Funciones de soporte: Son funciones que aseguran que se logre la función principal.
3. Funciones secundarias: Estas funciones logran objetivos secundarios.
4. Funciones dañinas: Son funciones que no son deseadas y provocan resultados negativos.

Las últimas tres funciones se refieren a funciones que realizan los subsistemas, mientras que la primera se refiere a la función que debe cumplir el sistema tecnológico.

A continuación se listan 3 casos en los que es necesario resolver un problema en un sistema tecnológico (Savransky, 2000):

- La función principal no se cumple (un nuevo sistema necesita ser diseñado).
- La función principal se cumple parcialmente (el sistema necesita ser transformado).
- La función principal se cumple pero existen contradicciones entre sus efectos deseados e indeseados (el sistema necesita ser transformado).

Herramientas disponibles dentro de TRIZ

TRIZ cuenta con herramientas que pueden ser usadas para encontrar problemas (entender el verdadero problema) y para encontrar soluciones a ellos. A continuación se describen las que se usaron en este trabajo.

Contradicciones

Para TRIZ el resolver un problema significa resolver una contradicción (Domb, 2008). Una contradicción es un conflicto que ocurre dentro del sistema, ejemplo; si queremos que un automóvil vaya más a prisa debemos acelerar el motor, lo que implica un consumo mayor de combustible, lo que es algo indeseado.

En el ejemplo anterior el problema es: ¿Cómo acelerar el automóvil?

Una posible solución es: Pisar el acelerador

Lo que genera la siguiente contradicción: Acelerar el motor incrementa la velocidad pero empeora el consumo de combustible.

Resolver contradicciones significa resolver problemas con un grado de dificultad alto. En cambio si no se hubiera tomado en cuenta la contradicción, en el ejemplo anterior la solución hubiera sido tan simple como “pisar el acelerador”.

Cuando se resuelve una contradicción se eliminan las desventajas, por ejemplo: el problema de una sillas de ruedas que sea capaz de superar obstáculos, se puede resolver con muy poca creatividad generando un concepto de silla de ruedas que sea capaz de volar y así librar cualquier obstáculo, pero aunque la tecnología para hacerlo ya existe, generaría muchas contradicciones si se aplicara.

La tecnología para volar se usa en áreas en las que las contradicciones no son tan importantes (aviones, drones, helicópteros, etc.).

Para TRIZ existen dos tipos de contradicciones.

Contradicción técnica: Cuando algo es simultáneamente bueno y malo, es decir causa un beneficio al sistema pero al mismo tiempo lo perjudica. Este tipo de contradicciones se presentan entre dos subsistemas de las siguientes formas.

- Cuando hacemos que el sistema nos entregue un beneficio, se intensifican los efectos perjudiciales o bien uno nuevo aparece.
- Cuando intentamos eliminar algo perjudicial dentro de un subsistema, otro subsistema pierde o disminuye sus beneficios.
- Cuando al reducir o eliminar los efectos perjudiciales de un subsistema causa una complicación inaceptable del mismo subsistema o del sistema por completo.

La forma adecuada de expresar estas contradicciones es la siguiente:

Verbo → Subsistema → Mejora (característica) → PERO → Empeora (Característica)

Ejemplo:

- Aumentar el diámetro de los cables mejora su conductividad pero empeora su costo.
- Incrementar la altura de un edificio mejora su habitabilidad pero su peso empeora.

Contradicción física: Ocurren cuando se necesita que un subsistema tenga una propiedad "a" y una propiedad contraria a "a" o que no tenga esta propiedad "a". O expresado en otras palabras como sigue:

- Cuando intensificamos los beneficios de un subsistema, al mismo tiempo incrementamos los efectos dañinos de este mismo subsistema
- Cuando reducimos los efectos dañinos, al mismo tiempo los beneficios se reducen

Para redactar una contradicción física se puede utilizar la siguiente estructura.

Característica → Subsistema → DEBE SER → valor → PARA → propósito → y DEBE SER → valor → PARA → propósito.

Ejemplos:

- El diámetro de los cables debe ser grande para aumentar su conductividad pero pequeño para disminuir su peso
- La altura de un edificio debe ser grande para aumentar su habitabilidad pero debe ser pequeña para disminuir su peso.

También se pueden clasificar las contradicciones en tres grupos: naturales, sociales y de ingeniería.

Las contradicciones naturales se pueden clasificar en dos grupos:

- Fundamentales: estas contradicciones están regidas por las leyes de la naturaleza, como intentar obtener temperaturas inferiores al cero absoluto o viajar a la velocidad de la luz.
- Cosmológicas: estas contradicciones son inherentes a las condiciones que existen en la tierra. Como por ejemplo el clima o la gravedad.

Las contradicciones sociales:

- Individuales: provocadas principalmente por estereotipos, poca creatividad e inercia psicológica, temor al fracaso y poco conocimiento.
- Organizacionales: debidas a que muchas organizaciones tienen métodos ya establecidos, falta de presupuesto, estilos de liderazgo y restricción en el tiempo
- Culturales: inherentes a la aceptación del sistema político económico actual, temor al cambio y diferentes formas de pensar entre diversas partes del mundo.

Dentro de las contradicciones de ingeniería podemos encontrar las contradicciones técnicas y físicas mencionadas anteriormente.

Idealidad

La RAE define "ideal" como algo perfecto y que solo existe en el pensamiento. Para TRIZ la idealidad puede representarse en un sistema, proceso, recurso, solución, método, máquina y sustancia con las siguientes características (Savransky, 2000):

- Una maquina ideal no tiene masa ni volumen pero realiza el trabajo requerido
- El método ideal no consume tiempo ni energía pero realiza el efecto requerido de una manera controlada.
- El proceso ideal es aquel que se logra sin un proceso.
- La sustancia ideal no es una sustancia(vacío) pero realiza su función
- La técnica ideal no ocupa espacio, no tiene peso, no requiere mantenimiento, y entrega beneficios sin efectos dañinos, y hace todo por ella misma sin energía adicional, mecanismos, costos o materia.

Como se puede ver, es muy complicado que un sistema tecnológico cumpla con alguno de los principios anteriores, sin embargo, un sistema que evoluciona debe acercarse a ellos.

El sistema tecnológico que se acerca a la idealidad tiene las siguientes características (Savransky, 2000).

1. Los efectos dañinos desaparecen en su totalidad.
2. Los efectos útiles se mantienen y nuevos beneficios aparecen.
3. No aparecen nuevos efectos dañinos.
4. El sistema no se hace más complejo.
5. Las contradicciones son removidas.
6. Recursos olvidados y poco usados son utilizados.
7. Satisface otros requerimientos relacionados con el sistema.

Un sistema ideal es inalcanzable ya que un sistema que solo tenga Funciones Útiles es imposible, como lo es un sistema 100% eficiente. Sin embargo, el tener en mente como sería el sistema ideal es bastante útil para observar los puntos que tiene un sistema para mejorar y así el diseñador podrá tener una dirección en la cual generar conceptos. Esto puede representar una ventaja para

el diseñador ya que generara conceptos enfocados a una solución ideal en lugar de generarlos al azar y sin dirección.

Este proceso de generar soluciones hacia atrás, (comenzando por el sistema ideal), se puede ejemplificar como una flecha que intenta dar en un blanco, por el contrario el generar conceptos sin una dirección bien podría ser comparado con arrojar muchas flechas al mismo tiempo sin apuntar, esperando que una logre dar en el blanco, eventualmente una pegara en él, pero después de generar un gran número de ideas.

Más adelante se planteara el sistema ideal correspondiente a una silla de ruedas.

Tendencias de evolución

Las tendencias de evolución son patrones que los entusiastas de TRIZ como Darrell Mann han obtenido al estudiar los cambios que han tenido algunos sistemas con respecto al tiempo.

Mediante estas tendencias es posible anticipar el siguiente paso que va a tomar un sistema. Con esta herramienta el análisis de contradicciones se puede omitir, sin embargo, en este trabajo se usó la mayor cantidad de herramientas con el fin de llevar a cabo una mayor profundización en TRIZ.

Existe un número amplio de tendencias de evolución, y solo se tienen que seleccionar las que estén más relacionadas con nuestro sistema. Más adelante cuando las apliquemos se describirá cada una.

Recursos

Un sistema tecnológico aprovecha solo algunos recursos que tiene disponibles, por ejemplo: un automóvil tiene a su disposición muchos recursos (aire, lluvia, baches, conductor, tráfico, etc.) y solo aprovecha algunos.

Para TRIZ un sistema que aprovecha más recursos es un sistema que se acerca a la idealidad, existen 6 grupos de recursos (Savransky, 2000):

1. Recursos naturales del ambiente: cualquier objeto o campo que exista alrededor del sistema
2. Recursos de tiempo: consisten en aprovechar las características del sistema en diferentes tiempos.
3. Recursos de espacio: se refieren a la posición, la localidad y el orden de los subsistemas, sistema y macrosistema.
4. Recursos de sistema: son los que surgen cuando se cambian las interacciones de los subsistemas.
5. Recursos de macrosistema: se aprovechan al combinar dos o más sistemas diferentes.
6. Recursos de microsistema: consisten en segmentar el sistema en partes más pequeñas.

40 principios

Con esta herramienta se solucionan las contradicciones mediante los 40 principios. Estos principios son soluciones genéricas que se encontraron al estudiar miles de patentes y cada principio es una herramienta para generar ideas que lleven a una solución, sin embargo, el esfuerzo creativo para llegar a una solución no es remplazado. Los 40 principios solo direccionan el pensamiento y ahorran tiempo como ya se ha mencionado antes.

Para usarse se tienen que buscar soluciones con los principios que tengan más afinidad a nuestro sistema tecnológico y descartar los que no tengan aplicación.

A continuación se explican brevemente (Domb, 2008).

Principios

1. Segmentación: Pasar a al micronivel. Dividir un objeto en partes independientes. Hacer un sistema fácil de desensamblar.
2. Separación: Remover la parte del sistema que se necesario para evitar interferencias.
3. Calidad local: Hacer que los subsistemas cuenten con varias funciones.
4. Asimetría: Cambiar la forma de un objeto de simétrica a asimétrica.
5. Consolidación: Juntar dos objetos o unirlos si comparten características.
6. Universalidad: Hacer que una parte del sistema realice varias funciones.
7. Anidación: Colocar un objeto dentro de otro.
8. Contrapeso: Compensar el peso de un objeto con otro.
9. Acción contraria anticipada: Crear esfuerzos en un objeto con el fin de contrarrestar esfuerzos en el futuro.
10. Acción anticipada: Acomodar o preparar objetos de tal manera que trabajen en el momento y posición indicada.
11. Compensación anticipada: Preparar medios de emergencia para situaciones previstas.
12. Equipotencialidad: Evitar elevar o bajar cargas durante su manipulación.
13. Inversión: Llevar a cabo la acción de forma contraria a la convencional.
14. Esfericidad: Reemplazar partes lineales con curvas o esferas.
15. Incremento dinámico: Permitir que un objeto cambie según las condiciones de trabajo.
16. Acción excesiva o parcial: Tratar de obtener el 100% del efecto deseado.
17. Transición a una nueva dimensión: Cambiar un movimiento unidimensional a dos o tres dimensiones.
18. Vibración mecánica: Emplear oscilaciones:
19. Acción periódica: Reemplazar una acción continua con una periódica.
20. Conducir una acción positiva continuamente: Realizar una acción sin pausas, ni tiempos muertos.
21. Aumentar la velocidad de una acción peligrosa: Realizar acciones que puedan ser dañinas, a una alta velocidad para disminuir sus efectos.
22. Convertir algo en dañino en benéfico: Transformar efectos dañinos en benéficos o incrementar la acción dañina hasta que ya no lo sea.
23. Retroalimentación: Introducir retroalimentación para mejorar una acción o proceso.
24. Mediador: Utilizar un objeto intermedio para llevar a cabo una acción.
25. Autoservicio: Hacer que un sistema se de mantenimiento por sí mismo.
26. Copiado: Emplear una copia barata en lugar del original de mayor costo.
27. Desechar: Hacer desechables los objetos para evitar el mantenimiento.
28. Reemplazar un sistema mecánico con otro: Reemplazar el sistema mecánico por un sistema óptico, acústico o térmico.
29. Emplear un sistema hidráulico o neumático: Utilizar gases o líquidos en lugar de partes sólidas.
30. Membranas flexibles: Separación de varios objetos mediante membranas.
31. Material poroso: Hacer un material poroso y si ya lo es se recomienda llenarlos de una sustancia útil.
32. Cambio de color: Cambiar el color, translucidez o resaltar alguna cualidad con color.
33. Homogeneidad: Fabricar objetos que interactúan con materiales similares.
34. Desechar y regenerar partes: Después de que un elemento ha realizado su función debe desecharse, disolverse, evaporarse, etc.

35. Transformación de propiedades: Cambiar el estado físico de algún elemento, su densidad o temperatura.
36. Transición de fase: Aprovechar el fenómeno de cambio de fase y sus propiedades (absorción o pérdida de calor, cambios de volumen, etc.)
37. Expansión térmica: Aprovechar la dilatación o contracción que sufren los materiales al exponerse a ciertas temperaturas.
38. Oxidación acelerada: Aumentar el proceso de oxidación de un proceso.
39. Ambiente inerte: Remplazar un ambiente inerte con uno natural.
40. Materiales compuestos: utilizar los nuevos como fibra de carbono.

Matriz de contradicciones

Existe una herramienta que ayuda a usar los 40 principios de forma más rápida que se llama "matriz de contradicciones". Como se vio antes, una contradicción técnica aparece cuando una característica del sistema mejora pero al mismo tiempo otra empeora.

Altshuller listó 39 parámetros que pueden tener los sistemas tecnológicos, con ellos elaboró una matriz que tiene en sus columnas y en sus filas los 39 parámetros. A continuación se listan y explican brevemente estos parámetros. (Domb, 2008)

Parámetros

1. Peso del objeto móvil: Fuerza que un objeto ejerce sobre su soporte.
2. Peso del objeto estacionario: Fuerza que un objeto ejerce sobre su soporte.
3. Longitud del objeto móvil: Cualquiera de las dimensiones lineales de un objeto en movimiento.
4. Longitud del objeto estacionario: Cualquiera de las dimensiones lineales de un objeto en reposo.
5. Área del objeto en movimiento: Área o parte de la superficie que ocupa un objeto en movimiento.
6. Área del objeto estacionario: Área o parte de la superficie que ocupa un objeto en reposo.
7. Volumen del objeto en movimiento: Espacio volumétrico que ocupa un cuerpo en movimiento.
8. Volumen del objeto estacionario: Espacio volumétrico que ocupa un cuerpo en reposo.
9. Velocidad: Velocidad de un objeto o en la que se ejecuta un proceso.
10. Fuerza: Se refiere a la fuerza necesaria para cambiar un objeto de posición.
11. Esfuerzo o presión: Es la fuerza por unidad de área.
12. Forma: Contorno externo de un objeto.
13. Estabilidad a la composición del objeto: Se refiere a las interacciones entre los componentes de un sistema.
14. Resistencia: Resistencia a la ruptura.
15. Duración de una acción del objeto móvil: Tiempo en el cual un objeto puede llevar a cabo una acción.
16. Duración de una acción del objeto estacionario: Tiempo en el cual un objeto puede llevar a cabo una acción.
17. Temperatura: Condición térmica de un objeto.
18. Intensidad luminosa: Flujo de luz por unidad de área.

19. Uso energético del objeto en movimiento: Energía requerida por un objeto estático para llevar a cabo un trabajo.
20. Uso energético del objeto estacionario: Energía requerida por un objeto estático para llevar a cabo un trabajo.
21. Potencia: Tiempo en el que se lleva a cabo un trabajo.
22. Pérdida de energía: Energía disipada que no contribuye al trabajo.
23. Pérdida de materia: Pérdida de materia parcial o total, de manera temporal o permanente del sistema o subsistemas.
24. Pérdida de información: Pérdida de información parcial o total, de manera temporal o permanente del sistema o subsistemas.
25. Pérdida de tiempo: Tiempo que se requiere para llevar a cabo una actividad.
26. Cantidad de sustancia o de materia: Cantidad de sustancia que contiene un objeto.
27. Confiabilidad: Seguridad de que un sistema va a llevar a cabo la función para cual fue diseñado.
28. Precisión en la medida: Certidumbre con la que es posible medir el valor.
29. Precisión de la manufactura: Grado de exactitud con el que se puede fabricar un objeto con respecto a las especificaciones requeridas.
30. Daño externo que afecta un objeto: Susceptibilidad de un objeto para sufrir daños infringidos por el entorno.
31. Daños generados por el propio objeto: Daños producidos por el propio objeto durante su operación.
32. Facilidad de fabricación: Facilidad con la que se puede fabricar un objeto.
33. Facilidad de operación: Simplicidad en la operación de un objeto.
34. Facilidad de reparación: cualidad para ser reparado de forma rápida.
35. Adaptabilidad: La capacidad de un objeto a cambiar según cambios externos.
36. Complejidad del objeto: Número y diversidad de elementos que componen un sistema.
37. Dificultad de medir y detectar: Los sistemas complejos son difíciles de monitorear y controlar.
38. Nivel de Automatización: Capacidad de un sistema para operar sin la intervención humana.
39. Capacidad productividad: Número de funciones u operaciones que un objeto lleva por unidad de tiempo.

Para usarla se tienen que buscar en las columnas los parámetros que empeoran y en sus filas los que mejoran. Las intersecciones arrojan los principios que pueden resolver dichas contradicciones.

Como se vio, TRIZ consta de varias herramientas y el uso de ellas nos ayudara a encontrar un concepto que este en un nivel de inventiva alto. En la sección siguiente se explican brevemente estos niveles.

Niveles de inventiva

Dentro de TRIZ existen 5 niveles en los que se pueden clasificar los problemas de inventiva. A continuación se listan dichos niveles y el número de intentos aproximado que deben de ocurrir antes de tener éxito (Genrikh, Shulyak, & Rodman, 1999):

Nivel 1: Un problema y sus medios para solucionarlo existen dentro de un área de una profesión. (1 a 10 intentos).

Nivel 2: Un problema y sus medios de solución existen dentro de la misma industria. (Un problema de manufactura se puede solucionar con un rediseño de la pieza)(10 a 100 intentos)

Nivel 3: Un problema y sus medios de solución existen dentro de un área de la ciencia (problemas mecánicos que son solucionados por medios mecánicos) (100 a 1000 intentos).

Nivel 4: El problema y sus medios de solución existen fuera del área de la ciencia que los creo (problemas mecánicos pueden ser resueltos por medios químicos) (1000 a 10000 intentos).

Nivel 5: El problema y sus medios de solución existen fuera de los alcances de la ciencia contemporánea por lo que es necesario un nuevo descubrimiento para solucionarlo. (10000 a 100000 intentos)

Breve valoración de TRIZ y de sillas de ruedas existentes

Para la valoración de TRIZ analizaremos las sillas de ruedas existentes en el mercado con la herramienta de las tendencias de evolución. Con este análisis se podrán comparar los resultados obtenidos mediante TRIZ y el éxito de cada silla en el mercado.

En el artículo “Defining ‘breakthrough’ product design solutions” de Darrel Mann, sugiere que una innovación exitosa debe tener tres características:

1. Una innovación debe tener saltos en diferentes tendencias aprovechando la tecnología que existe en otras áreas.
2. El producto final debe llegar al usuario sin ninguna contradicción, es decir, el usuario no tiene que decidir que característica del producto quiere conservar y a costa de que.
3. El usuario debe ser capaz de identificar la función que realiza el sistema nuevo y así poder compararlo con otros existentes, además de que debe tener una conexión clara con el entorno. Esto quiere decir que el ambiente en el que se va a usar el sistema esté preparado para recibirlo.

La silla de ruedas más comercial es la Silla de Ruedas Plegable Autopropulsable (SRPA), esto quiere decir que las sillas más innovadoras no han podido desplazar a este sistema a pesar de ser el más antiguo.

Con ayuda de las tendencias de evolución realizaremos el radar para la SRPA, después realizaremos el radar para tres conceptos más innovadores y con ayuda de los tres principios de Darrell Mann analizaremos porque no han podido desplazar a la silla de ruedas convencional.

Selección de tendencias

El primer paso es analizar todas las tendencias de evolución y seleccionar las que más se apegan a nuestro sistema. Debajo se listan las tendencias seleccionadas junto con la forma en que se interpretaron.

1. Segmentación: a medida que la silla cuenta con más accesorios de ensamble rápido (i.e. descansa brazos, cojines, rines, etc.) se considera más segmentada.
2. Decremento de la densidad: como el nombre de esta tendencia lo indica, a medida que la silla se hace más ligera se considera que evoluciona en esta tendencia, esto se da principalmente por el nuevo uso de materiales y diseños minimalistas.
3. Dinamización: Una silla evolucionada en esta tendencia debe tener más articulaciones, por ejemplo el ibot300 es más evolucionado que una silla convencional por sus

- mecanismos para subir escaleras. Una evolución en esta tendencia también se puede manifestar en un plegado más compacto.
4. No linealidad: La linealidad se asumió como la capacidad para adaptarse a diferentes condiciones de uso, por ejemplo circular sobre diferentes terrenos, o la facilidad para transportarse en automóvil o transporte público.
 5. Mono-Bi-Poli-objetos similares: esta tendencia representa la cantidad de componentes dentro de la silla que comparten características, por ejemplo los pares de ruedas traseras y frontales que son iguales.
 6. Evolución del mercado: a medida que se avanza en esta tendencia los usuarios satisfacen mejor sus expectativas, por ejemplo en el punto más bajo de esta tendencia se puede ofrecer una solución sin tomar en cuenta la estética y a medida que se evoluciona el cliente espera un empaque, mejor mantenimiento, mejor experiencia de uso, un servicio, etc.
 7. Grados de libertad: Se entiende como la adaptabilidad que los componentes tienen al cuerpo del usuario y al terreno. Entre más grados de libertad más adaptable al cuerpo y al terreno será una silla de ruedas
 8. Disminución de fronteras: la mayoría de los componentes de las sillas de ruedas realizan pocas funciones, por ejemplo, al ver el asiento se puede deducir fácilmente que es para sentarse, pero si se colocara un compartimento para guardar cosas debajo de él, entonces el asiento serviría para sentarse y para guardar cosas. Esto traería una evolución en la reducción de fronteras del sistema.
 9. Disminución de la complejidad: como se vio en la sección de la idealidad un sistema que evoluciona debe ser menos complejo (i.e. reducción del número de componentes).
 10. Disminución de la intervención humana: En las sillas autopropulsables el usuario se encarga de transmitir fuerza a la silla de ruedas para poder desplazarla y en las sillas eléctricas (más evolucionadas en esta tendencia) solo controla mediante botones el movimiento de la silla. En el extremo de esta tendencia se tendría una silla de ruedas que se pudiera manejar sola.
 11. Metodología de diseño: A medida que un producto evoluciona se diseña para reducir costos y mejorar su confiabilidad, por ejemplo, las sillas de ruedas modernas requieren de poco mantenimiento.

En la siguiente sección se analizan con las tendencias de evolución arriba listadas, los cuatro tipos de sillas de ruedas en los que se pueden agrupar la mayoría de los productos existentes en el mercado.

Silla de Ruedas Plegable Autopropulsable SRPA



Figura 27 (www.sillasderuedas.com.mx)

La figura 27 muestra una silla de ruedas plegable autopropulsable fabricada en México con un precio aproximado de 1,500 MXN.

En la tabla 5 se describe en qué etapa de cada tendencia se encuentra la SRPA y por qué.

Tendencia	Etapas
Segmentación	Objeto segmentado: Las sillas actuales cuentan con cojines, descansa pies y accesorios desmontables.
Densidad decreciente	Pocas mejoras: Muchas estructuras de sillas de ruedas son de aluminio o titanio, sin embargo las más comunes son de acero.
Dinamización	Una junta: para realizar el plegado, las sillas cuentan con un mecanismo de tijera.
No linealidad	Sistema parcialmente lineal: se pueden colocar diferentes tipos de accesorios y además se puede plegar para poder ser transportada.

Mono Bi-Poli-Objetos similares	Bi-sistema: Las ruedas y accesorios se cuentan por pares (i.e., 2 ruedas grandes, 2 ruedas pequeñas, dos descansa pies, etc.)
Evolución de mercado	Producto: después de que la silla es comprada, el fabricante no tiene contacto con ella en muchas ocasiones.
Grados de libertad	Un grado de libertad: los subsistemas tienen un grado de libertad (descansa brazos, ruedas, descansa pies)
Disminución de fronteras	Muchas fronteras: cada subsistema de la silla de ruedas realiza pocas funciones.
Reducción de la complejidad del sistema	Una parte por función: las funciones son casi iguales al número de subsistemas.
Disminución de la intervención humana	Humano + herramienta: los humanos impulsan y controlan las sillas de ruedas.
Metodología de diseño	Prueba y error: Las sillas de ruedas han evolucionado poco.

Tabla 5

La figura 28 muestra la gráfica tipo radar que describe las tendencias listadas arriba.

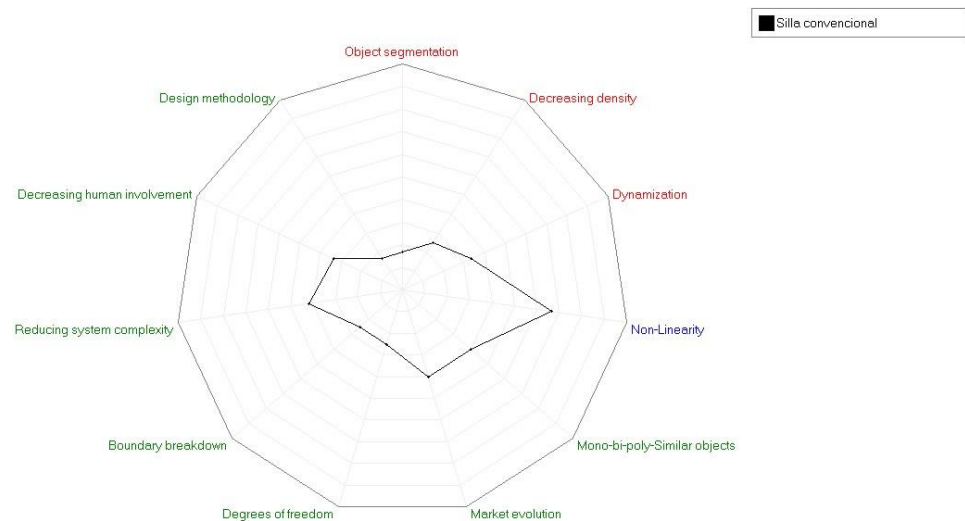


Figura 28

Silla de ruedas eléctrica (SRE)



Figura 29 (<http://ramsan.mx/es>)

Englobaremos en este estudio a la mayoría de sillas de ruedas eléctricas, ya que las diferencias entre ellas son muy pequeñas.

Algunas características importantes de estas sillas son que cuentan con un sistema de suspensión y posibilidad de reclinar el respaldo y descansar pies.

En la figura 29 se muestra el modelo “izy go” con un precio de \$ 30,000 MXN aproximadamente

En la tabla 6 se establece en qué etapa de cada tendencia se encuentra y por qué.

Tendencia	Etapas
Segmentación	Objeto segmentado: Este tipo de sillas cuentan con cojines, descansar pies y accesorios desmontables. Ya que el peso no es un factor importante se les pueden poner varios accesorios.
Densidad decreciente	El peso del sistema de propulsión es elevado y propulsarse sin energía eléctrica es muy difícil
Dinamización	Una junta: Algunas sillas de ruedas eléctricas permiten reclinar el respaldo y descansar pies, pero no son plegables.
No linealidad	Sistema lineal: Este tipo de sillas deben ser usadas en terrenos planos y no pueden plegarse, lo que limita su adaptabilidad.

Mono Bi-Poli-Objetos similares	Bi-sistema: Las ruedas y accesorios se cuentan por pares (i.e., 2 ruedas grandes, 2 ruedas pequeñas, dos descansa pies, etc.)
Evolución de mercado	Producto: Después de que la silla es comprada, el fabricante no tiene contacto con ella la mayoría de las veces.
Grados de libertad	Dos grados de libertad: En muchas sillas de este tipo se puede reclinar el respaldo. Lo que vuelve más adaptable el asiento.
Disminución de fronteras	Muchas fronteras: Cada subsistema de la silla de ruedas realiza una función.
Reducción de la complejidad del sistema	Varias partes por función: Para realizar la propulsión se requiere de un motor, batería, transmisión y sistema de control.
Disminución de la intervención humana	Humano+ herramienta y energía: La propulsión es realizada por el motor.
Metodología de diseño	Prueba y error: Son sillas con un precio elevado y su uso es poco frecuente.

Tabla 6

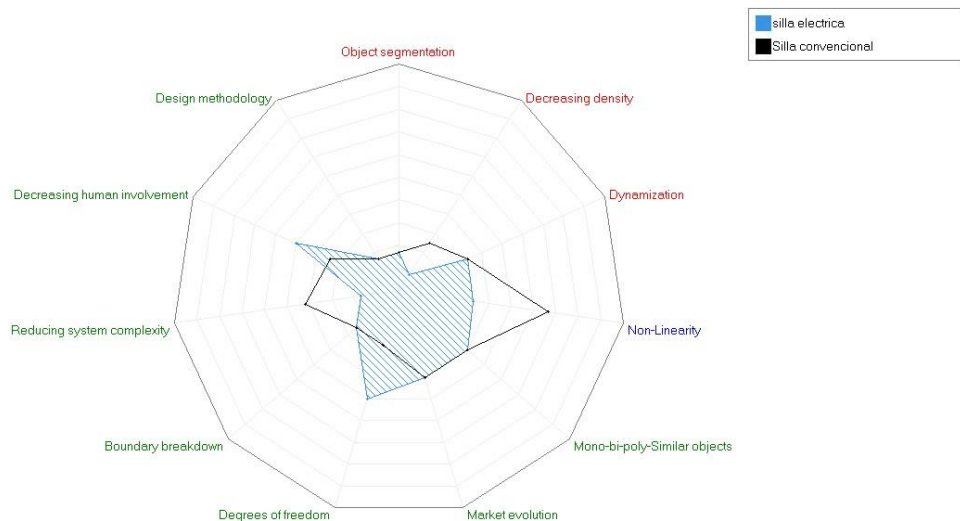


Figura 30

La figura 30 muestra la gráfica correspondiente a la SRPA con un contorno negro y en líneas diagonales se muestra la SRE.

Como podemos ver solo hubo mejoras en las tendencias de grados de libertad y disminución de la intervención humana (sin tomar en cuenta el mantenimiento). En contraste, hubo un retroceso en las tendencias de: linealidad, disminución de la densidad y complejidad del sistema.

Los avances y retrocesos en las tendencias de evolución son contradicciones y las podemos formular de la siguiente manera.

La silla de ruedas tiene que tener un sistema de propulsión para disminuir la intervención del asistente y para aumentar la adaptabilidad del asiento sin importar su peso (mecanismos de reclinación, cojines especiales, descansa pies más adaptables), pero al mismo tiempo no debe existir el sistema de propulsión para que la silla de ruedas siga siendo plegable, ligera, fácil de transportar y fácil de mantener.

Esta contradicción se puede formular de manera más simple como una contradicción física:

- El sistema de propulsión debe estar para evitar el desgaste del usuario y asistente pero no debe estar para que la silla pueda ser plegable, ligera y fácil de mantener.

Las contradicciones que surgen con este tipo de sillas tienen que ser cubiertas con la compra de una SRPA, entonces se puede decir que la silla de ruedas eléctrica depende de una silla de ruedas convencional.

Motor acoplable



Figura 31 (<http://reactiv.com.mx>)

Este concepto se puede describir como un motor, batería y sistema de control que se acoplan a la mayoría de las sillas de ruedas convencionales con el fin de facilitarles al usuario y al asistente el transportarse por largas distancias.

En la figura 31 se muestra el producto SmartDrive de esta categoría con un precio de 5,741.45 USD aproximadamente.

Existen diferentes tipos de sistemas acoplables, la mayoría son sistemas que van integrados en las ruedas traseras.

En la tabla 7 se muestran las tendencias y la etapa de cada una en la que esta este concepto.

Tendencia	Etapa
Segmentación	Objeto segmentado: El motor batería y sistema de control se puede desmontar.
Densidad decreciente	La silla es más pesada.
Dinamización	Una junta: El número de juntas se mantiene igual al de una SRPA.
No linealidad	Sistema parcialmente no lineal: Se puede montar y desmontar el sistema de propulsión pero las demás funciones de la silla de ruedas siguen permaneciendo iguales.
Mono Bi-Poly-Objetos similares	Bi-sistema: Las ruedas y accesorios se cuentan por pares (i.e., 2 ruedas grandes, 2 ruedas pequeñas, dos descansa pies, etc.)
Evolución de mercado	Producto: Después de que el sistema es comprado, el fabricante no tiene contacto con ella, solo para mantenimiento en caso de ser necesario.
Grados de libertad	Un grado de libertad: los subsistemas tienen un grado de libertad(descansa brazos, ruedas, descansa pies)
Disminución de fronteras	Muchas fronteras: cada subsistema de la silla de ruedas realiza una función.
Reducción de la complejidad del sistema	Varias partes por función: para realizar la propulsión se requiere de un motor, batería, transmisión y sistema de control.
Disminución de la intervención humana	Humano+ herramienta y energía: la propulsión es realizada por el motor. Pero se tiene que plegar, ensamblar, superar escalones, banquetas y transportar manualmente.
Metodología de diseño	Diseño optimización (etapa 2): este concepto aprovecha la silla de ruedas con las adaptaciones que cada persona requiera.

Tabla 7

La figura 32 muestra las comparaciones entre la SRPA y una silla de ruedas con un sistema de propulsión acoplable.

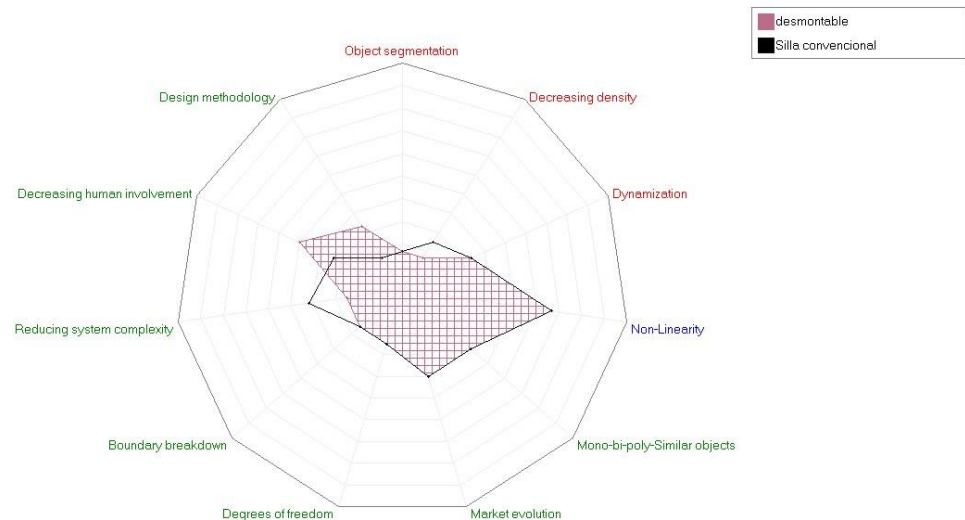


Figura 32

Este sistema muestra avances en las tendencias de: metodología de diseño y disminución de la intervención humana. Y un retroceso en la complejidad de sistema y en la disminución de la densidad en comparación con la SRPA.

De la misma manera que en el concepto anterior los cambios en las tendencias de evolución se pueden formular como una contradicción:

- El sistema de propulsión debe estar para reducir la intervención humana, pero no debe estar para que la silla sea fácil de mantener y ligera.

De igual manera esta contradicción se puede expresar como contradicción física.

- El sistema de propulsión debe estar pero no debe estar.

Sin embargo, al ser un sistema que se puede desacoplar, el usuario puede revertir parte de esta contradicción cuando lo desee. Pero aunque el sistema este desacoplado está consumiendo recursos como puede ser el mantenimiento, espacio y el precio pagado.

IBOT3000

En esta sección se analizara el ibot3000 (ver figura 33), que es una silla de ruedas eléctrica con prestaciones muy superiores en algunos puntos de uso.

Es capaz de elevarse y permitirle al usuario alcanzar una altura similar a la de una persona estando de pie, lo que le da al usuario la oportunidad de interactuar con otras personas y con su entorno de una manera más cómoda. También cuenta con la capacidad para poder subir y bajar escaleras y banquetas, pero en contraste no tiene opción para reclinar el respaldo y tampoco cuenta con reposapiés ajustables.

Para realizar el ascenso y descenso de escaleras y banquetas cuenta con un sistema de auto balanceo que también se encuentra en los Segways (ver figura 34)



Figura 33 (<https://msu.edu>)



Figura 34 (<http://www.segwaymexico.com.mx/>)

En la tabla 8 se establece la etapa en la que se encuentra cada tendencia de evolución.

Tendencia	Etapa
Segmentación	Objeto monolítico: La integración del sistema para subir y bajar escaleras, motor, transmisión y batería no permiten el desensamble de la silla de ruedas.
Densidad decreciente	La silla es más pesada.
Dinamización	Múltiples juntas: el mecanismo utilizado para subir y bajar escaleras es muy complejo y requiere de muchas juntas.
No linealidad	Sistema lineal: es un sistema muy complejo con difícil mantenimiento y sus condiciones de operación son muy específicas. Aunque puede subir escaleras no puede ser plegada, lo que le quita la capacidad para pasar por lugares estrechos y ser transportada en un automóvil.
Mono Bi-Poly-Objetos similares	Bi-sistema: Dos pares de ruedas pequeñas
Evolución de mercado	Servicio: debido a la complejidad solo el fabricante le puede dar mantenimiento.
Grados de libertad	Dos grados de libertad: La silla puede elevarse.
Disminución de fronteras	Reducción de fronteras: las ruedas sirven para avanzar, elevar, subir y bajar escaleras.
Reducción de la complejidad del sistema	Varias partes por función: el mecanismo de auto balanceo tiene muchas partes.
Disminución de la intervención humana	Humano+ herramienta y energía: este concepto es controlado por el humano.
Metodología de diseño	Diseño estático: El nivel de sofisticación es muy alto.

Tabla 8

Ahora compararemos los radares de la silla de ruedas convencional y el iBot3000.

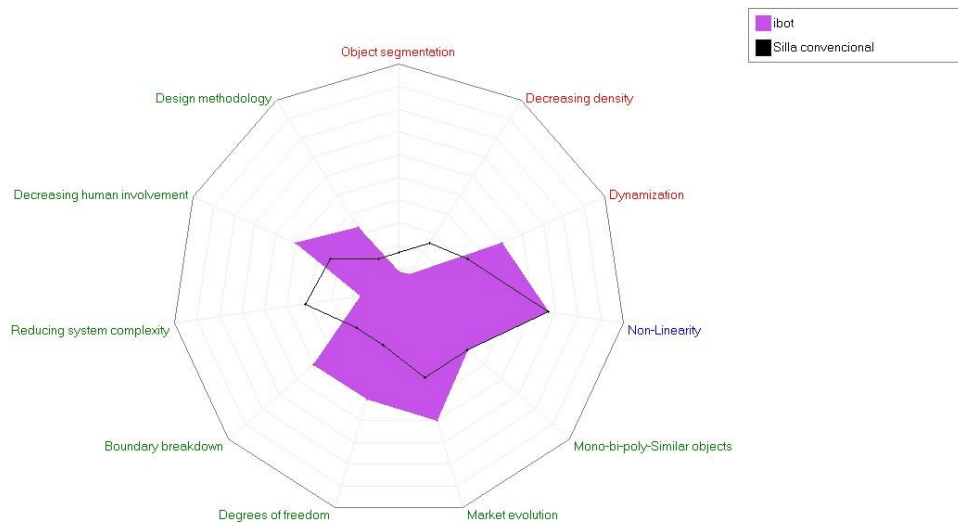


Figura 35

La grafica (ver figura 35) muestra en transparente el área correspondiente a la SRPA y en área oscura el iBot3000.

Los retrocesos fueron importantes ya que no está pensada para ser transportada dentro de un automóvil o transporte público. Además la capacidad para subir y bajar escaleras resulta muy costosa en términos de funcionalidad por las siguientes razones:

- El sistema incrementa el peso y todos los componentes deben hacerse más robustos y pesados.
- El usuario solo puede subir y bajar escaleras a las que pueda llegar sin la necesidad de un medio de transporte como un automóvil, debido a que no puede plegarse.
- Al ser un sistema más complejo requiere de mucho mantenimiento y mientras se le da el mantenimiento el usuario debe usar otra silla de ruedas.
- Aprender a utilizar este sistema demanda del usuario más capacidades (buena vista, poner atención a la recarga de la batería, atención al mantenimiento, curso para aprender a manejarla).
- El precio tan elevado hace más fácil modificar el entorno que comprar este producto.

Este concepto también entra en conflicto con el principio número tres, debido a que no existe ningún sistema similar en el mercado y el usuario no puede compararlo y evaluar si le conviene.

Por otra parte este sistema requiere de una silla de ruedas convencional para que el usuario pueda transportarse en un automóvil, autobús, avión y para cuando la silla iBot3000 requiera de mantenimiento y recarga. Además de todos estos inconvenientes se suma el precio que es de \$26,100 dólares.

Se puede ver que este concepto de silla de ruedas puede ser atractivo únicamente para personas con una necesidad muy alta de subir y bajar escaleras. Sin embargo, la empresa “Independence Technology” encargada de fabricarla decidió parar su producción debido a que no existió la suficiente demanda.

Valoración:

Con base en los conceptos que analizamos anteriormente podemos concluir que ninguno corresponde a la evolución natural de la silla de ruedas, solo son productos que satisfacen ciertas necesidades en mayor medida, pero pagan un precio a la hora de satisfacer otras necesidades, es decir, son productos más especializados.

Con los principios estudiados antes, se puede sugerir un concepto intermedio entre la silla de ruedas eléctrica y el iBot3000, Para aumentar las probabilidades de éxito.

Si la empresa desarrolladora del iBot3000 hubiera tenido conocimiento de las tendencias de evolución, los principios de Darrell Mann y de las contradicciones que ocasionaba su concepto, lo correcto hubiera sido no desarrollarlo.

La probabilidad promedio de que un producto innovador tenga éxito en el mercado es del 5% (Mann D. , 2007). Y por esta razón es importante que los diseñadores minimicen riesgos con ayuda de herramientas como las tendencias de evolución.

El análisis efectuado en el iBot300 nos arroja que es un producto que no va a tener el mismo éxito que una silla de ruedas convencionales y así fue como sucedió en la práctica, ya que sus desarrolladores decidieron parar la producción.

Para el paso siguiente, con estos principios y las tendencias de evolución desarrollaremos un concepto innovador de silla de ruedas que tenga el potencial para impactar en el mercado y que se pueda considerar como una evolución de las SRPA al mismo tiempo que se profundiza en el proceso de diseño.

Diseño

El diseño es el proceso de establecer requerimientos basados en necesidades humanas, transformándolas en especificaciones y funciones que se deben ejecutar, para después ser analizadas en soluciones de diseño, que pueden ser económicamente posibles de manufacturar y producir.

Es importante diferenciar entre metodología de diseño, teoría del diseño y método de diseño (N F O Evbuomwan, 1995)

- Una metodología de diseño es un conjunto de procedimientos, herramientas y técnicas que son usadas por diseñadores a la hora de diseñar.
- La teoría de diseño es un conjunto de principios que son útiles para explicar el proceso de diseño y proponer nuevas metodologías de diseño.
- Lo métodos de diseño son las herramientas que se utilizan en cada etapa específica del proceso de diseño.

A continuación se describen tres metodologías de diseño clasificadas por sus autores y se mencionan sus principales etapas.

Pahl and Baitz

Clarificación del objetivo

En esta etapa se trata de responder las siguientes preguntas; ¿Qué objetivos debe cumplir la solución esperada? ¿Qué propiedades debe tener? ¿Qué propiedades no debe tener? El resultado de esta etapa debe ser una lista de requerimientos.

Diseño conceptual

En esta etapa se espera encontrar el principio de solución mediante la identificación de problemas esenciales, establecer estructuras funcionales, investigar principios de trabajo apropiados y combinarlos en una estructura de trabajo.

Embodiment design

En esta etapa el principio de solución o concepto de un producto se desarrolla tomando en cuenta consideraciones técnicas y económicas.

Diseño de detalle

Aquí se establecen finalmente el arreglo, dimensiones, propiedades de superficie y forma de todos los componentes del sistema.

David G. Ullman

Definición y planeación del proyecto

En esta etapa se deben plantear las siguientes preguntas; ¿Hay un buen potencial de retorno de inversión? ¿El nuevo producto está a la par con la imagen de la empresa? ¿El producto comparte los canales de distribución? ¿Cuánto costará el proyecto?

Para la planeación de proyecto se deben programar los recursos de tiempo, dinero y gente necesarios para llevarlo a cabo.

Definición de especificaciones

La meta para esta etapa es identificar el problema generando especificaciones o metas que debe cumplir el producto, y establecer los requerimientos.

Diseño conceptual

Para David G. Ullman un concepto es una idea lo suficientemente desarrollada como para evaluar los principios físicos que gobiernan su comportamiento. Para generarlos propone el uso de lluvia de ideas, uso de analogías, uso de patentes, etc.

Desarrollo del producto

En esta fase se refina el mejor concepto para hacerlo un producto.

Soporte de producto

Las responsabilidades de los diseñadores no terminan con el lanzamiento del producto, tienen que dar soporte a vendedores y si es necesario realizar cambios al producto.

Ulrich-Eppinger

Identificar las necesidades del cliente

El objetivo de esta actividad es entender las necesidades del cliente y comunicarlas en forma efectiva al equipo de desarrollo. El resultado de este paso es un conjunto de enunciados cuidadosamente contruidos de las necesidades del cliente

Establecer las especificaciones objetivo

Las especificaciones son la traducción de las necesidades del cliente en términos técnicos. Cada una de las especificaciones consta de una métrica, así como de valores marginales y valores ideales.

Generación de conceptos

La meta es explorar en su totalidad el universo de conceptos de producto que puedan abordar las necesidades del cliente.

Selección del concepto

La selección del concepto es la actividad en la que se analizan y se eliminan varios con el objeto de identificar el concepto más prometedor.

Prueba del concepto

Uno o más conceptos se prueban para verificar que las necesidades del cliente se han cubierto, se evalúa el potencial del producto en el mercado y se identifican los defectos que deben ser corregidos en el desarrollo posterior.

Establecer especificaciones finales

Las especificaciones objetivo se revisan después de que el concepto se ha seleccionado y probado. En esta etapa se especifican las métricas que reflejan las restricciones inherentes del concepto, limitaciones identificadas mediante modelado técnico y concesiones entre costo y desempeño.

Planeación del proyecto

En esta actividad el equipo crea un programa detallado de desarrollo, concibe una estrategia para reducir al mínimo el tiempo de desarrollo e identifica los recursos necesarios para complementar el proyecto.

Diseño conceptual de una silla de ruedas

En esta sección se aprovechara la profundización que se hizo en TRIZ y en las sillas de ruedas para lograr un diseño conceptual.

La metodología de diseño que se usara es la propuesta por Ulrich-Eppinger. Se eligió esta metodología por su sencillez en comparación con la propuesta por Davig G. Ullman y Pahl and Beitz. La primera abarca más etapas como la de definición y planeación del proyecto, y soporte del producto. Mientras que la segunda propone las etapas de “embodiment” y “diseño de detalle” pero estas dos etapas quedan fuera del alcance de este trabajo.

La metodología de diseño propuesta por Ulrich-Eppinger consta de las siguientes etapas y será apoyada por TRIZ de la siguiente manera:

1. Identificación de necesidades

En este trabajo se obtuvieron mediante información sobre las sillas de ruedas disponibles en el mercado (capítulo radares), las causas que llevan a una persona a necesitar de una silla de ruedas, la mecánica en una silla de ruedas y la observación de usuarios.

2. Establecer especificaciones

El segundo paso consta de analizar las necesidades que se obtuvieron y elaborar las especificaciones objetivo de nuestro concepto.

a. Identificación de problema

Formular los problemas que impiden alcanzar las especificaciones objetivo en forma de contradicciones con ayuda del diagrama de 9 ventanas.

3. Generación de conceptos

Para la etapa número tres (Generación de conceptos) empezaremos a usar TRIZ de la siguiente manera:

1. Mapear los recursos disponibles
2. Identificar el sistema ideal
3. Buscar soluciones mediante los 40 principios
4. Seleccionar y aplicar las tendencias de evolución para solucionar las contradicciones que no han sido resueltas.

4. Selección de conceptos

Para la etapa número cuatro de selección de conceptos se utilizara la herramienta de la idealidad y la entrevista con usuarios.

5. Probar conceptos finales

6. Fijar especificaciones finales

7. Planear la etapa final de desarrollo

Utilizaremos TRIZ como una ayuda en el proceso de diseño en los pasos 1, 2, 3, 4 y los puntos 5,6 y 7 quedan fuera del alcance de este trabajo.

Identificación de necesidades

Con la información recabada sobre sillas de ruedas podemos identificar necesidades que satisfacen a todos los usuarios sin tomar en cuenta la razón por la que usan silla de ruedas, de esta manera se intentara lograr un concepto de silla de ruedas que pueda ser utilizada por todos.

Los enunciados deben expresar la necesidad tomando en cuenta los siguientes puntos:

- Expresar la necesidad en términos de lo que tiene que hacer y no de lo que debe hacer
- Usar enunciados afirmativos
- Expresar tan específicamente como la información recopilada
- Expresar como atributo del producto y evitar palabras como debe y debería.

Entonces nuestras necesidades quedan de la siguiente manera:

1. La silla de ruedas es cómoda y no deteriora la salud del usuario.
2. La silla de ruedas es fácil de transportar.
3. La silla de ruedas ofrece mayor independencia.

Especificaciones objetivo

Las especificaciones objetivo traducen las necesidades del cliente en un lenguaje ingenieril, para lograr esto a cada especificación se le debe asignar una métrica que pueda ser medida fácilmente. Las especificaciones para la silla de ruedas están dadas por la tabla 9.

Núm.	Métrica	Necesidad	Importancia	Unidades
1	Tiempo que pueda estar sentado el usuario	Es cómoda	5	Horas
2	Vibraciones transmitidas al usuario	Es cómoda	5	Hz
3	Ángulos variables del asiento	Es cómoda	5	Grados
4	Facilidad para maniobrar (dirección)	Es cómoda	4	Grados
5	Dimensiones	Es fácil de transportar	3	m
6	Peso	Es fácil de transportar	2	Kg
7	Tiempo para ser plegada y guardada	Es fácil de transportar	1	S
8	Fuerza necesaria para superar obstáculos	La silla de ruedas ofrece mayor independencia	4	N

Tabla 9

Generación de conceptos

Identificación de problemas

Con lo anterior podemos empezar a plantear los problemas que nos impiden alcanzar esas especificaciones objetivo.

Los diagramas de nueve ventanas nos ayudaron a encontrar y a aclarar los problemas que existen. A continuación se lista lo que se entiende por sistema, microsistema y macrosistema en el problema de sillas de ruedas.

- Sistema: silla de ruedas con todos sus componentes como: ruedas, asiento, frenos, etc.
- Macrosistema: Calles, fabricas, medios de transporte, tiendas para refacciones, médicos, usuario y asistente, etc.
- Microsistema: Material con el que están hechos los componentes, órganos del usuario y asistente, geometría de los componentes, etc.

La tabla 10 muestra el análisis utilizando el diagrama de las nueve ventanas para el problema de las sillas de ruedas.

	Pasado	Presente	Futuro
Macrosistema	El asistente y el usuario se sienten cómodos usando la silla de ruedas.	La silla es controlada por el asistente y el usuario para evitar el movimiento y una posible caída o volcadura.	El usuario y el asistente evitan pasar por terrenos irregulares. Se compran refacciones para compensar el desgaste que ha sufrido la silla de ruedas. El usuario sufre lesiones debido al terreno irregular.
Sistema	La rueda circula por terreno liso y no transmite vibraciones cuando está en terreno liso.	La rueda circula por terreno irregular y transmite vibraciones a la silla de ruedas.	La rueda vuelve al terreno liso y deja de transmitir vibraciones.
Micronivel	Las ruedas se deforman poco al circular en terreno liso.	Las ruedas y el cojín se deforman y absorben algunas vibraciones.	La rueda y cojín se desgastan y son remplazados.

Tabla 10

A continuación se enuncian los problemas y debajo de ellos se muestran las soluciones con un nivel de inventiva uno, es decir, las soluciones en las que solo se está aplicando un conocimiento que ya existe para solucionar el problema pero no se resuelven los problemas que trae consigo el aplicar este conocimiento (contradicciones).

1. Para brindar mayor comodidad, el usuario debe de estar aislado de las irregularidades del terreno. (distancia variable del suelo al usuario)
 - Una solución de nivel de inventiva bajo sería el equipar la silla de ruedas con un sistema de suspensión convencional basada en resortes, pero el peso, complejidad y el esfuerzo para impulsarse aumentarían.
2. Para brindar mayor comodidad el usuario debe estar en una posición cómoda y que no deteriore su salud.
 - Colocar un asiento mucho más cómodo que haría que el peso y el volumen de la silla empeoraran.
3. Para brindar mayor comodidad la silla de ruedas debe ser reclinable (aumentar el área de presión).
 - Agregar un sistema de reclinación para el asiento, pero la haría costosa.
4. Para brindar mayor comodidad, la silla de ruedas debe ser muy estable.
 - Aumentar la distancia entre llantas, pero empeoraría su volumen.
5. Para que la silla de ruedas sea fácil de transportar, tiene que ocupar un volumen menor al actual.
 - Reducir las distancias entre llantas entonces la silla se hace inestable.
6. Para que la silla de ruedas tenga mayor movilidad, debe ser capaz de superar obstáculos como: banquetas, topes, escaleras, etc.
 - Para este problema no se vislumbra una solución de nivel de inventiva bajo, ya que no se encontró alguna tecnología que permita librar cualquier obstáculo.

Con ayuda de las herramientas de TRIZ podemos generar soluciones que estén más allá de las soluciones que se mencionaron.

Contradicciones

Podemos formular los problemas anteriores como las siguientes contradicciones:

1. Hacer constante la distancia del suelo al usuario mejora su desempeño en terreno liso, pero empeora su desempeño cuando se usa en terreno irregular.
2. Incrementar el área del asiento para evitar llagas por presión mejora la comodidad pero empeora el volumen de la silla de ruedas.
3. Hacer ajustable la inclinación del respaldo y de los descansa pies mejora la comodidad pero empeora la complejidad.
4. Aumentar las dimensiones de la silla de ruedas mejoran su estabilidad pero empeora su transportación.
5. Disminuir el diámetro de las ruedas traseras mejora el volumen de la silla de ruedas pero empeora su autopropulsión.

6. Subir y bajar escaleras con una silla de ruedas mejora su independencia pero empeora su consumo de energía.

Contradicciones físicas

Por lo general una contradicción técnica es producto de una contradicción física, las primeras tres contradicciones técnicas listadas arriba, tienen detrás las siguientes contradicciones físicas.

1. La estructura de la silla de ruedas debe ser sólida cuando se circula por terreno liso, pero elástica para cuando se circula por terreno irregular.
2. El área del asiento y respaldo debe ser grande para aumentar el área de presión, y pequeña para disminuir el volumen de la silla de ruedas.
3. La silla de ruedas debe tener un mecanismo que permita la inclinación del respaldo pero no debe existir para que la complejidad disminuya.

Recursos

Nuestro problema tiene los siguientes recursos de macrosistema:

1. Procesos de manufactura (maquinaria, trabajadores, materiales, etc.)
2. Refacciones para sillas comerciales (frenos, ruedas, cojines, accesorios, etc.)
3. Elementos rígidos utilizados para la construcción de silla de ruedas.
4. Personas que reparan las sillas de ruedas.
5. Asistente.
6. Terrenos irregulares.
7. Terrenos lisos.
8. Medios de transporte poco adaptados.
9. Calles en mal estado.
10. Desgaste del usuario.
11. Lesiones causadas por una silla de ruedas inapropiada.
12. La silla no es usada todo el tiempo.

Sistema ideal

Para nuestro problema podemos formular el sistema ideal con las siguientes características, en paréntesis aparecen los criterios del sistema ideal al que se pueden asociar. Estas características de sistema ideal deben estar presentes a la hora de evaluar conceptos, para evitar alejarnos del sistema ideal.

1. La silla de ruedas tiene una complejidad mínima (la complejidad no incrementa).
2. La silla de ruedas no deteriora la salud del usuario (los efectos dañinos desaparecen).
3. La silla de ruedas no se asocia a una enfermedad, sino a un medio de transporte solamente (los efectos dañinos desaparecen).
4. La silla de ruedas no necesita de un asistente (nuevas funciones útiles aparecen)
5. La silla de ruedas es capaz de subir y bajar escaleras, topes y banquetas (nuevas funciones útiles aparecen).
6. La silla de ruedas aísla al usuario de las imperfecciones del terreno (nuevas funciones útiles aparecen).
7. La silla de ruedas es muy estable (nuevas funciones útiles aparecen).
8. La silla de ruedas se transporta con facilidad (nuevas funciones útiles aparecen).
9. La silla de ruedas está construida con materiales y refacciones disponibles en el mercado (se aprovechan recursos que estaban olvidados).

40 principios

Con todo lo anterior en mente es posible empezar a generar soluciones partiendo de los 40 principios y la matriz de las contradicciones:

Se eligió la contradicción seis debido a que es una contradicción técnica y los principios arrojados por la matriz generaron los conceptos más viables.

Solución 1

Contradicción:

1. Subir y bajar escaleras con una silla de ruedas mejora su independencia pero empeora su consumo de energía.

Para ingresar a la matriz de las contradicciones debemos identificar los parámetros que mejoran y que empeoran:

Parámetro que mejora: Productividad

Parámetro que empeora: Uso de energía del objeto en movimiento

Principios de solución:

Cambio de parámetros (35): sin aplicación

Oxidación acelerada (38): sin aplicación

Acción periódica (19): sin aplicación

Acción anticipada (10): Con este principio se propone descomponer el movimiento de subir y bajar escaleras en dos partes. Es decir, primero se hace un movimiento vertical y después un movimiento horizontal.

Los siguientes principios también pueden ser de ayuda, aunque la matriz de las contradicciones no los haya arrojado.

Segmentación (1): En lugar de usar cuatro ruedas se propone usar ocho ruedas extra (ver figura 36).

Universalidad (6): Con este principio podemos ocupar el sistema generado para subir y bajar escaleras, como un sistema para reclinar la silla y aumentar el área de presión del usuario con el asiento y respaldo. Las ruedas ya no deben ser grandes para propulsarse puesto que se ha previsto la utilización de un motor y actuadores eléctricos para llevar a cabo los movimientos.

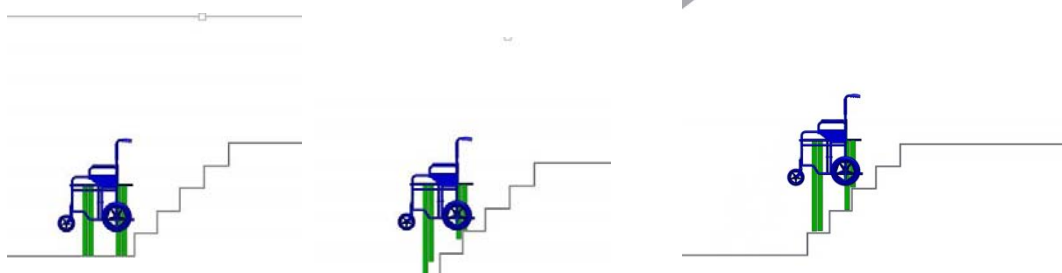


Figura 36

Este primer concepto logro resolver tres de las seis contradicciones iniciales, faltando solamente “La estructura de la silla de ruedas debe ser solida cuando se circula por terreno liso, pero elástica para cuando se circula por terreno irregular”, “La silla de ruedas debe ser grande para ser estable, pero pequeña para que pueda ser transportada con facilidad” y “Las ruedas de la silla deben ser pequeñas para ocupar menos espacio y grandes para que el usuario se pueda impulsar”

Al analizar este concepto con la herramienta de la idealidad, nos damos cuenta de que la complejidad es inaceptable y muchos efectos dañinos han aparecido como: el peso, la dificultad para transportarse, la lentitud con la que se sube escaleras y el aumento en la conversión de energía. Por otra parte, los subsistemas necesarios para fabricar este concepto son muy especializados y no se encuentran fácilmente. Por lo que tenemos que seguir con la búsqueda de soluciones.

Solución 2

En esta búsqueda de solución se usara la misma contradicción que antes pero se utilizaran de diferente forma los principios arrojados por la matriz de las contradicciones.

Contradicción:

1. Subir y bajar escaleras con una silla de ruedas mejora su independencia pero empeora su consumo de energía.

Acción anticipada (10): Al igual que en el concepto anterior se descompondrá el movimiento de subir y bajar escalones en dos partes. Es decir, primero se hace un movimiento vertical y después un movimiento horizontal.

Los siguientes conceptos serán útiles para desarrollar el concepto aunque no los haya arrojado la matriz de las contradicciones.

Dinamización (15): las ruedas constan de un eje fijo, con este principio se propone hacer móvil este eje. Al poner la silla de ruedas de espalda a un escalón y mover el eje hacia él, entonces el peso del usuario impulsara la rueda hacia arriba del escalón (Ver imagen 37).

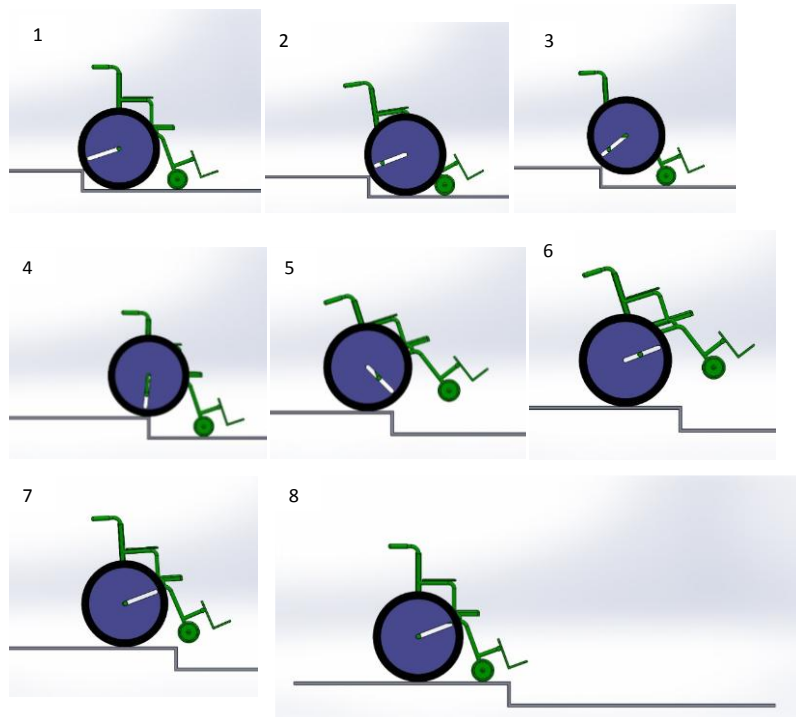


Figura 37

Universalidad (6): de la misma manera que con el concepto anterior, ocuparemos este principio para usar el sistema generado para subir y bajar escalones, como un sistema para reclinar la silla y aumentar el área de presión del usuario con el asiento y respaldo (ver figura 38).

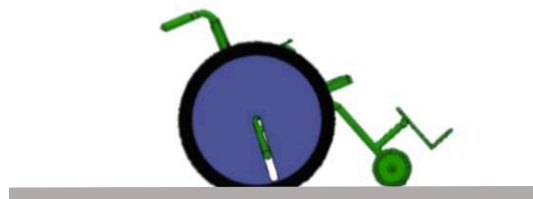


Figura 38

La rueda es el subsistema que menos ha evolucionado, y esto no puede ser por mucho tiempo. La rueda tiene que alcanzar el mismo grado de evolución que los otros subsistemas de la silla de ruedas, por ejemplo: el cojín de aire para evitar llagas, las llantas neumáticas, estructura plegable, asiento reclinable, etc.

El concepto generado permite subir escalones con la ayuda de un asistente, pero éste tiene que realizar menos esfuerzo para poder levantar al usuario y la silla, ya que la altura se recupera desplazándose hacia atrás hasta colocar la ranura de la rueda con una pendiente que permita que el eje vuelva a tomar el centro de la rueda (ver figura 39).

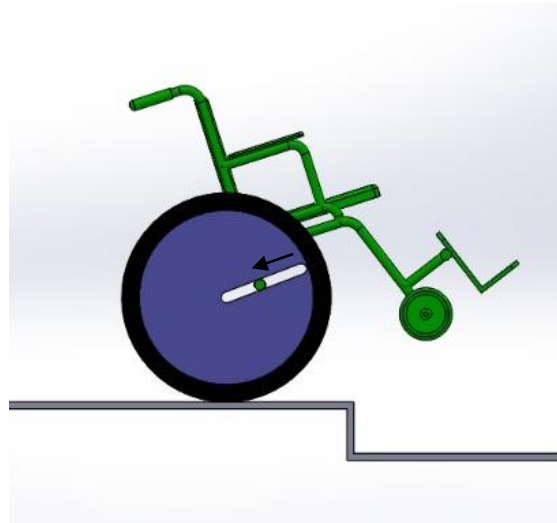


Figura 39

1. Este último concepto solucionó 5 contradicciones, solo faltó la número uno “La estructura de la silla de ruedas debe ser sólida cuando se circula por terreno liso, pero elástica para cuando se circula por terreno irregular”. Sin embargo, la complejidad que tiene este concepto es elevada, por el gran número de partes móviles y a que no existen de forma estandarizada. Es decir, se tienen que fabricar especialmente para este fin, lo que las haría muy costosas.

Tendencias de evolución

Debido a que con los 40 principios no pudimos encontrar un concepto que eliminara todas las contradicciones, usaremos a continuación las tendencias de evolución. Entonces procederemos a escoger las tendencias que más se ajusten a nuestro sistema tecnológico (se usaran las mismas tendencias que se usaron al evaluar los productos disponibles en el mercado) y posteriormente al realizar el radar.

El radar partirá en base a las sillas manuales más comerciales que existen, esto debido a que son las que más aceptación ha tenido en el mercado. Las sillas eléctricas y con prestaciones superiores han tenido poca demanda, y puede que no estén siguiendo el camino correcto de la evolución.

En la tabla 11 se muestran las tendencias que se eligieron por tener aplicación con la silla de ruedas y en la columna de la derecha se muestra la etapa en la que se encuentra y por qué.

Tendencia	Etapa
Segmentación	Objeto segmentado: Las sillas actuales cuentan con cojines, descansa pies y accesorios desmontables.
Densidad decreciente	Pocas mejoras: Muchas estructuras de sillas de ruedas son de aluminio o titanio, sin embargo las más comunes son de acero.
Dinamización	Una junta: para realizar el plegado, las sillas cuentan con un mecanismo de tijera.
No linealidad	Sistema parcialmente lineal: se pueden colocar diferentes tipos de accesorios y además se puede plegar para poder ser transportada.
Mono Bi-Poli-Objetos similares	Bi-sistema: Las ruedas y accesorios se cuentan por pares (i.e., 2 ruedas grandes, 2 ruedas pequeñas, dos descansa pies, etc.)
Evolución de mercado	Producto: después de que la silla es comprada, el fabricante no tiene contacto con ella en muchas ocasiones.
Grados de libertad	Un grado de libertad: los subsistemas tienen un grado de libertad (descansa brazos, ruedas, descansa pies)
Disminución de fronteras	Muchas fronteras: cada subsistema de la silla de ruedas realiza pocas funciones.
Reducción de la complejidad del sistema	Una parte por función: las funciones son casi iguales al número de subsistemas.
Disminución de la intervención humana	Humano + herramienta: los humanos impulsan y controlan las sillas de ruedas.
Metodología de diseño	Prueba y error: Las sillas de ruedas han evolucionado poco.

Tabla 11

Solución 3

La tendencia “Mono-Bi-Poly-Objetos similares” tiene como siguiente paso el incrementar el número de objetos similares a tres. En este caso se propone usar un arreglo de tres ruedas pequeñas e iguales a cada lado de la silla, esto traerá como consecuencia que la silla de ruedas ocupe menos volumen y sea más fácil de transportar.

La tendencia “Dinamización” nos propone incrementar el número de juntas. Para incrementar el número de juntas y la adaptabilidad al terreno, se propone unir entre sí las dos ruedas traseras mediante un eslabón, y con otro eslabón unirlo a la estructura de la silla de ruedas (ver imagen 40).



Figura 40

Analizando este concepto se ve que el usuario no tiene forma de propulsarse, ya que las ruedas han disminuido su tamaño. Entonces se propone cambiar una rueda pequeña por una rueda grande y usando el principio de anidación (7), movemos el eje de la rueda hacia la parte delantera de la silla. Con este desplazamiento del eje, la rueda ocupa menos espacio por detrás de la silla. Mover la rueda hacia adelante le permite al usuario impulsarse de forma más cómoda. Como se muestra en la figura 41.



Figura 41

Si a este eslabón se le agregan diversos puntos de unión a diferentes alturas, entonces se puede lograr que el asiento cambie su ángulo con respecto del suelo, y así aumentar el área de presión del usuario (el respaldo recibirá más presión). Como se muestra en la imagen (Ver figura 42)

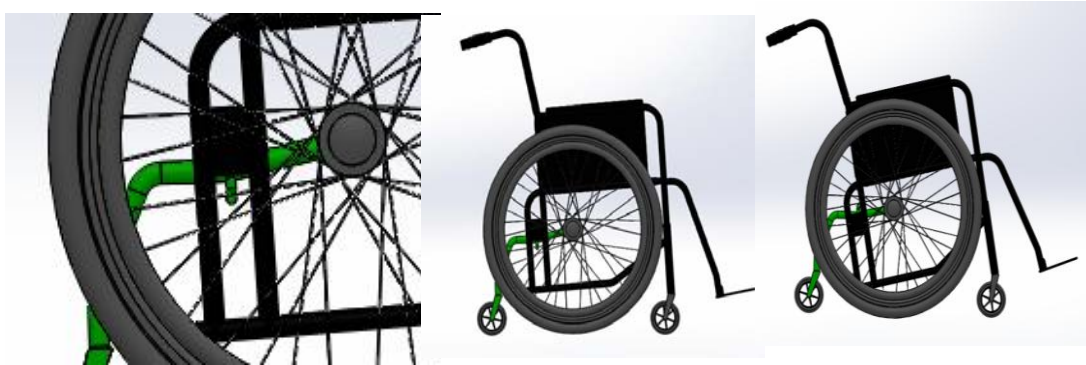


Figura 42

Cuando la silla esta plegada queda un espacio considerable entre rueda y rueda de cada lado. Este espacio puede ser utilizado con el principio de anidación (7), si ponemos las ruedas pequeñas extra, dentro de este espacio (Ver figura 43).

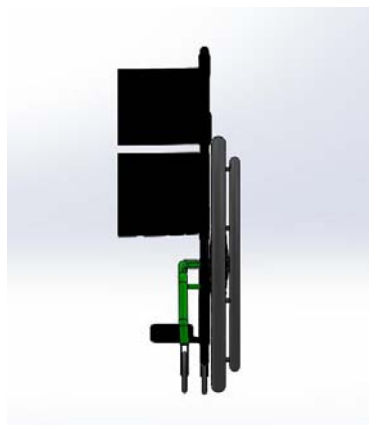


Figura 43

Con todas estas mejoras se realizó el radar de este concepto.

En la tabla 12 se listan las tendencias y en la columna izquierda la nueva etapa en la que están:

Tendencia	Etapa
Segmentación	Objeto altamente segmentado: Los eslabones pueden ser montados y desmontados según la conveniencia del usuario. Puede usar el nuevo sistema en terreno irregular y la rueda convencional en terreno liso.
Densidad decreciente	Muchas estructuras de sillas de ruedas son de aluminio, y algunos cojines son de aire (no hubo mejora).
Dinamización	Múltiples juntas: El nuevo sistema incrementa el número de juntas.
No linealidad	Parcialmente no lineal: El nuevo sistema permite circular por terreno irregular y por terreno liso, y puede desmontarse y pasar a l sistema convencional. (mejoro)
Mono-Bi-Poly-Objetos similares	Tri-sistema: A cada lado de la silla de ruedas se encuentran tres ruedas.
Evolución de mercado	Producto: El nuevo sistema tiene poca complejidad y no es necesario saltar a un servicio.
Grados de libertad	Dos grado de libertad: Las ruedas traseras pueden rotar sobre su eje y además sobre el eje de la silla de ruedas.
Disminución de fronteras	Reducción de fronteras: Mejoro un poco al permitir la reclinación de la silla. El mismo mecanismo que amortigua, reclina el respaldo
Reducción de la complejidad del sistema	Una parte por función: Aunque el número de componentes incrementa, también lo hace el número de funciones, como: reclinar el respaldo, absorber irregularidades del terreno, reducir volumen, etc.
Disminución de la intervención humana	Humano+ herramienta: Los humanos impulsan y controlan las sillas de ruedas (no hubo mejora).
Metodología de diseño	Diseño estático: Se utilizó TRIZ para el diseño.

Tabla 12

A continuación se muestra la gráfica radar que compara las silla de ruedas plegable autopropulsable con el nuevo concepto (ver figura 46).

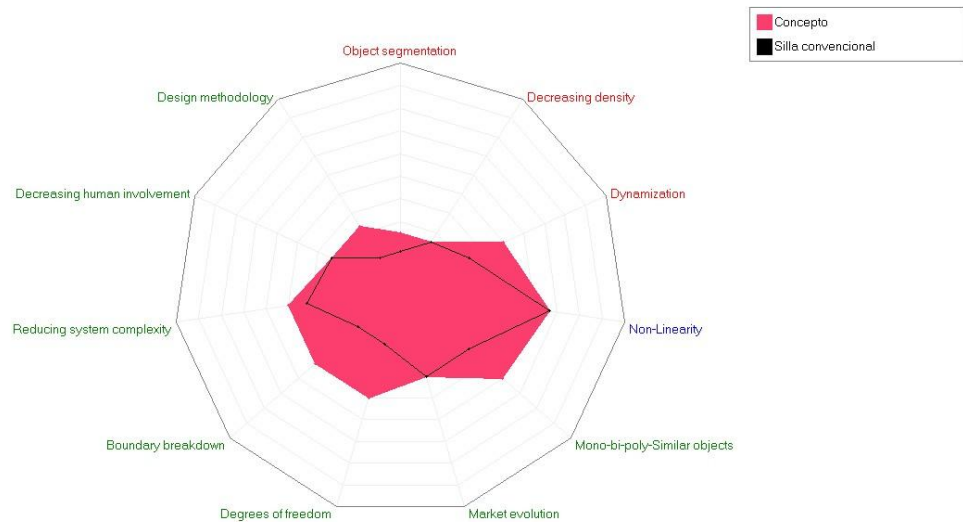


Figura 46

Ventajas de este sistema tecnológico

Este concepto es capaz de moverse por terrenos irregulares absorbiendo sus irregularidades y transmitiendo una menor cantidad de vibraciones al usuario, en comparación con las sillas comerciales.

Las siguientes imágenes muestran las trayectorias que recorrerían el centro de una rueda trasera convencional, el eje de la silla de ruedas acoplado al nuevo sistema y la trayectoria de la rueda frontal pequeña (figura 47).



Figura 47

En la figura 48 se puede apreciar cuando la rueda trasera de propulsión pasa sobre un borde del terreno, esto provoca que se eleve y siga el perfil del terreno tal y como es. Sin embargo, gracias al sistema que se diseñó se puede elevar esta rueda y el cambio en la altura del eje de la silla de ruedas en donde gira el brazo (verde), tiene un desplazamiento vertical de la mitad de lo que subió la rueda grande.



Figura 48

De la misma manera las ruedas traseras extras pasan por el obstáculo y el desplazamiento vertical que le transmite a la silla de ruedas es de la mitad en comparación con una silla convencional.

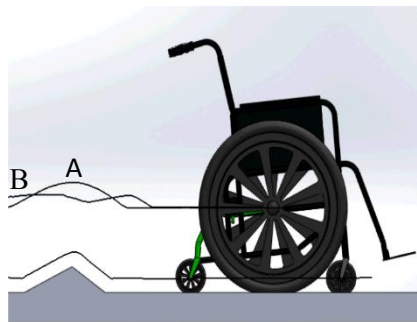


Figura 49

En esta última imagen (figura 49) se pueden ver las trayectorias de las ruedas, la trayectoria "A" es la que seguiría una silla de ruedas convencional al pasar por el obstáculo, y la trayectoria "B" es la que sigue una silla con el sistema nuevo. Se puede ver que la diferencia de alturas es del doble, pero en consecuencia el nuevo sistema debe pasar dos veces por el mismo obstáculo.

- El esfuerzo (potencia) requerido para superar pequeños obstáculos, como bordes o salientes en el piso, es menor.

Pasar por un obstáculo implica elevar la silla de ruedas y el usuario, y si la pendiente es muy pronunciada entonces este trabajo se debe realizar en muy poco tiempo. Este sistema disminuye ese esfuerzo ya que como se ha visto en las imágenes anteriores el obstáculo solamente eleva la silla de ruedas a la mitad en comparación con una silla convencional

- La estructura de la silla de ruedas no cambio, por lo que se espera que este sistema se pueda adaptar a cualquier silla de ruedas comercial.

Para instalar este brazo solo se necesita de un punto donde pueda rotar y este puede ser el punto donde se colocaría la rueda trasera. En el diseño de detalle se tendría que buscar la forma de acoplar este sistema a una silla convencional mediante el uso de un adaptador o elemento que los haga compatibles

- El sistema puede montarse y desmontarse según las necesidades del cliente.

Si el diseño de un adaptador es viable entonces el usuario podría quitar y poner el nuevo sistema cuando lo desee.

- Este sistema logra dar al usuario una capacidad de reclinación, lo que aumentaría su área de presión y disminuiría su riesgo de lesiones.

Como se vio anteriormente el brazo tiene varias alturas para poder brindar varios ángulos al asiento y dar más estabilidad.

- Los frenos para silla de ruedas se venden de forma que se adapten al tubo con el que está construida la silla de ruedas, para utilizar estos mismos componentes el sistema debe ser construido con el mismo tubo que la estructura de la silla.
- El eje de las ruedas traseras ha quedado desplazado hacia delante, lo que favorece el movimiento de propulsión. (Fernandez, Crespo, Gatti, Muzio, & Olmos, 2012).



Figura 50

- Para fabricar este sistema no se requiere ninguna herramienta o maquina especial, por lo que los fabricantes de sillas pueden implementarlo sin problemas.
- Cuando la silla circula por terreno irregular el sistema actúa, pero cuando circula por terreno liso el sistema no actúa.
- El concepto final requiere de menos fuerza por parte del asistente y del usuario para girar, debido a que el punto de rotación está muy cerca del centro de gravedad. Figura 51

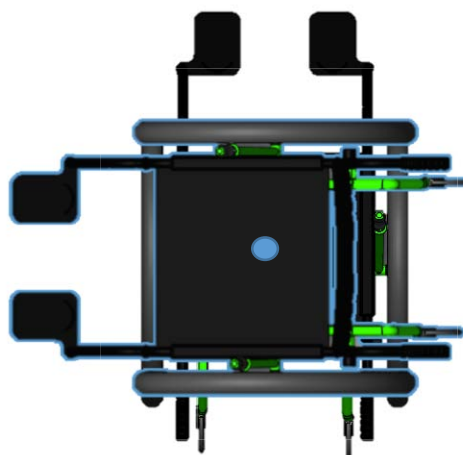


Figura 51

- La fuerza que se debe aplicar para que la silla supere obstáculos es menor, ya que el perfil que el centro de gravedad del usuario y la silla de ruedas siguen es más suave que el perfil del terreno.
- El comprador no se enfrenta a ninguna contradicción, ya que el radar de evolución no muestra caídas en ninguna tendencia, solo en disminución de la complejidad.
- Debido a la sencillez de este concepto puede convertirse en una innovación, y no solo en un desarrollo tecnológico.
- Este último concepto logra solucionar las seis contradicciones iniciales
- Es capaz de acoplarse a una barra en el brazo verde para que al bajar por una rampa muy inclinada o cualquier obstáculo el usuario pueda realizar la maniobra de dos puntos.

Selección de conceptos:

Con el sistema ideal podemos evaluar los tres conceptos generados y escoger el que este más cercano a la idealidad. Sin embargo, Ulrich-Eppinger propone evaluarlos conforme a criterios basados en las necesidades de los usuarios. Por esta razón se realizaron los dos tipos de evaluación.

Evaluación con necesidades

A continuación se muestra la matriz (ver tabla 13) usada para ponderar los criterios de evaluación. Esta matriz compara uno a uno los criterios de evaluación y se decide cual tiene mayor peso. Se otorga un cero cuando los dos criterios tienen el mismo valor, un uno cuando el criterio de la fila es de mayor importancia que el criterio de la columna y uno menos uno cuando el criterio de la columna es más importante que el de la fila. Al final en cada fila se suman los valores y se obtiene la ponderación.

	La silla de ruedas es cómoda y no deteriora la salud del usuario.	La silla de ruedas es fácil de transportar.	La silla de ruedas ofrece mayor independencia.	Peso
La silla de ruedas es cómoda y no deteriora la salud del usuario.	*	1	1	2
La silla de ruedas es fácil de transportar.	-1	*	0	-1
La silla de ruedas ofrece mayor independencia.	-1	0	*	-1

Tabla 13

Con los pesos que se obtuvieron podemos realizar la matriz de evaluación (ver tabla 14), como referencia para asignar las calificaciones tomaremos en cuenta la silla de ruedas plegable autopropulsable. La calificación ira de 1 a 5, siendo el uno mucho peor que la referencia y el 5 mucho mejor que la referencia.

		Solución 1		Solución 2		Solución 3	
		Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
Criterios de selección	Peso	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
1.La silla de ruedas es cómoda y no deteriora la salud del usuario.	50%	4	2	4	2	5	2.5
2.La silla de ruedas es fácil de transportar.	25%	1	.25	3	.75	4	1
3.La silla de ruedas ofrece mayor independencia.	25%	2	.5	2	.2	4	1
Total de puntos Lugar			2.75		2.95		4.5
¿Continuar?		No		No		Si	

Tabla 14

Con base en las necesidades identificadas la evaluación mayor fue para la solución número 3 y por tanto deberá ser con la que se siga el proceso de diseño.

Evaluación con el sistema ideal

A continuación se listan las características ideales específicas para la silla de ruedas, y entre paréntesis se menciona la característica general a la que se puede asociar.

1. La silla de ruedas tiene una complejidad mínima (la complejidad no incrementa).
2. La silla de ruedas no deteriora la salud del usuario (los efectos dañinos desaparecen).
3. La silla de ruedas no se asocia a una enfermedad, sino a un medio de transporte solamente (los efectos dañinos desaparecen).
4. La silla de ruedas no necesita de un asistente (nuevas funciones útiles aparecen)
5. La silla de ruedas es capaz de subir y bajar escaleras, topes y banquetas (nuevas funciones útiles aparecen).
6. La silla de ruedas aísla al usuario de las imperfecciones del terreno (nuevas funciones útiles aparecen).
7. La silla de ruedas es muy estable (nuevas funciones útiles aparecen).
8. La silla de ruedas se transporta con facilidad (nuevas funciones útiles aparecen).
9. La silla de ruedas está construida con materiales y refacciones disponibles en el mercado (se aprovechan recursos que estaban olvidados).

Para la mayoría de las características del sistema ideal se les dio un peso de 10%, y las únicas dos características con un peso de 15% son; no deteriora la salud del usuario y aísla al usuario de las imperfecciones del terreno. Se les dio un peso mayor porque son las que están asociadas con problemas de salud (ver tabla 15).

Criterios de selección	Peso	Solución 1		Solución 2		Solución 3	
		Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
4.Complejidad mínima.	10%	1	.1	2	.2	5	.5
5.No deteriora la salud del usuario.	15%	5	.75	2	.3	4	.6
6.No se asocia a una enfermedad, sino a un medio de transporte solamente.	10%	3	.3	2	.2	2	.2
7.No necesita de un asistente.	10%	2	.2	3	.3	3	.3
8.Es capaz de subir y bajar escaleras, topes y banquetas.	10%	5	.5	3	.3	2	.2

9. Aísla al usuario de las imperfecciones del terreno.	15%	4	.6	3	.45	4	.6
10. Es estable.	10%	2	.2	2	.2	4	.4
11. Se transporta con facilidad.	10%	1	.2	3	.3	4	.4
12. Está construida con materiales y refacciones disponibles en el mercado	10%	1	.1	2	.2	4	.4
Total de puntos Lugar			2.95		2.45		3.6
¿Continuar?		No		No		Si	

Tabla 15

El concepto número tres tuvo la mayor calificación, lo que indica que se está acercando más al sistema ideal.

Trabajo futuro

En este trabajo se llegó a un concepto de silla de ruedas (*ver figura 47*) con características que pueden ayudarla a convertirse en una innovación. Para lograrlo hace falta continuar con las posteriores etapas del proceso de diseño, como: prueba de conceptos y establecer especificaciones finales.

Para probar el concepto se espera realizar un prototipo basado en una silla de ruedas comercial, y realizar las adaptaciones para que el sistema que permite reducir las vibraciones pueda acoplarse y evaluar su funcionamiento en diferentes terrenos y condiciones de uso.

Medir la eficiencia de la propulsión, las inclinaciones del asiento y las aceleraciones que sufre el usuario al pasar por un terreno irregular. Estas son variables que se deberán medir para determinar la efectividad de este sistema.

Para determinar si es viable llevar este concepto al mercado hace falta realizar el correspondiente estudio económico.

TRIZ en el diseño

En esta sección se elaboró un diagrama (Ver figura 52) que permite ver de forma gráfica la ayuda de TRIZ en el proceso de diseño. Esta figura consta de los siguientes elementos:

Estado inicial: Es el estado que se requiere transformar en un estado óptimo o ideal.

Problema: Es la distancia que existe entre el estado inicial y el estado ideal.

Soluciones: Este recuadro se divide en dos partes, la parte superior (recuadro 1) agrupa todas las soluciones que generan nuevas contradicciones y la parte inferior (recuadro 2) agrupa a todas las soluciones que resuelven todas las necesidades sin generar nuevas contradicciones.

Camino 1: Este camino es el que convierte el estado inicial en un estado ideal. Sin embargo, es imposible pasar por el debido a que se interponen las contradicciones de ingeniería, sociales y naturales.

Camino 2: En el camino dos se generan soluciones con un nivel de inventiva de uno, por lo que el estado final queda totalmente fuera del estado ideal (recuadro 2), es decir, no se resuelven todas o se generan nuevas contradicciones.

Camino 3: En este camino se utilizan las herramientas de TRIZ para esquivar las contradicciones naturales, sociales y de ingeniería, con el fin de generar una solución más cercana a la ideal (recuadro 2).

La idealidad: Es la distancia entre la solución generada y la solución ideal.

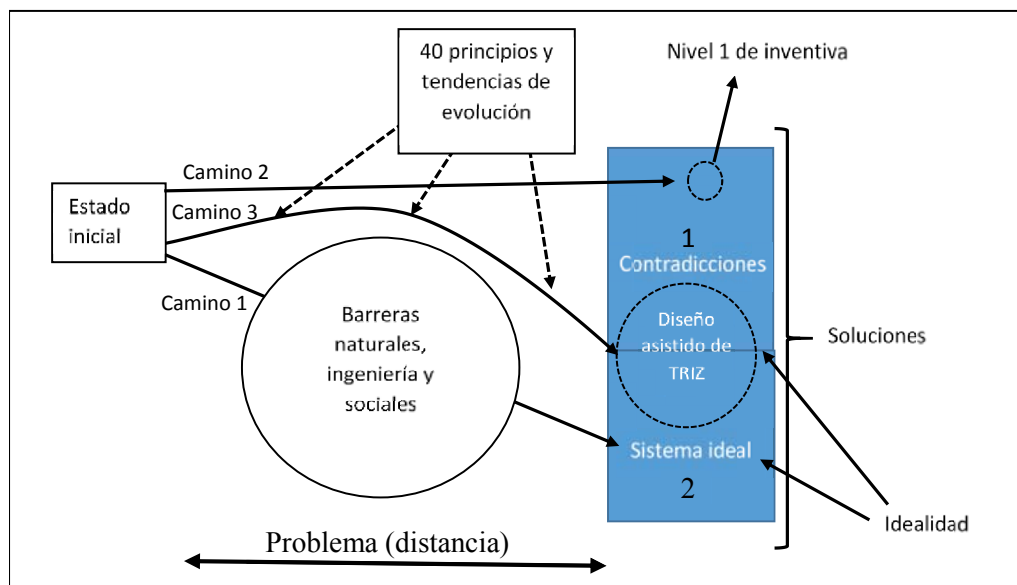


Figura 52

Conclusiones:

Se profundizó en el tema de TRIZ y sus principales herramientas, lo que nos permitió apoyar al proceso de diseño para llegar a un concepto de silla de ruedas innovadora (*ver figura 47*), ya que tuvo avances en varias tendencias de evolución.

TRIZ resultó una herramienta de ayuda para analizar los productos existentes en el mercado y entender las deficiencias cada uno.

Para el proceso de diseño se recomienda usar la herramienta de las tendencias de evolución, ya que en este trabajo lograron ser de utilidad para resolver todas las contradicciones y mantenernos en un nivel de innovación seguro.

Aprender las herramientas de TRIZ lleva tiempo pero resultan útiles a la hora de diseñar, sin embargo, el esfuerzo creativo que el diseñador debe realizar no es remplazado por estas herramientas.

TRIZ no es una metodología de diseño sino un conjunto de herramientas que pueden ayudar en el proceso de diseño.

Referencias

- Altshuller, G. (2004). *And suddenly the inventor appeared, TRIZ the theory of inventive problem solving*. Worcester MA: Technical innovation center, Inc.
- Campagnolle, S. H. (1998). *La silla de ruedas y la actividad física*. España: Paidotribo.
- Domb, K. R. (2008). *Simplified Triz*. New York: Auerbach Publications.
- Erik Wolf, R. A. (2007). Longitudinal assessment of vibrations during manual and power wheelchair driving over select sidewalk surfaces . *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 8.
- F. Pascual Gómez, J. P. (1999). Sillas de ruedas. Características técnicas y antropométricas. *Rehabilitación*, 10.
- Genrikh Saulovich Al'tshuller, L. S. (1999). *The Innovation Algorithm: TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity*. Worcester MA: Technical Innovation Center, Inc.
- Karl T. Ulrich, S. D. (2013). *Diseño y desarrollo de nuevos productos*. Mexico, D.F.: McGraw Hill.
- López, R. M. (1999). Sillas de ruedas para lesionados medulares. *Rehabilitación*, 5.
- Mann, D. (2006). On innovation timing. *The TRIZ journal*, 4.
- N F O Evbuomwan, S. S. (1995). A Survey of Design Philosophies, Models, Methods and Systems. *Institution of Mechanical Engineers*, 20.
- Ocampos, L. G. (1999). Sillas de ruedas para hemipléjicos, amputados y geriátricas. *Rehabilitación*, 7 .
- Orestes Freixes, S. A. (2012). Efecto de la posición del eje trasero de la silla de ruedas sobre la propulsión en personas con lesión medular cervical. *Neurología Argentina*, 8.
- Page, J. M. (1999). Sillas de ruedas motorizadas o de tracción electromecánica. *Rehabilitación*, 11.
- Pahl, G. B.-H. (2007). *Engineering Design*. Verlag London: Springer.
- Patricia Herrera-Saraya, I. P.-B.-L.-M.-V. (2012). Problemas con el uso de sillas de ruedas y otras ayudas técnicas y barreras sociales a las que se enfrentan las personas que las utilizan. Estudio cualitativo desde la perspectiva de la ergonomía en personas discapacitadas por enfermedades reumáticas y ot. *Reumatología clínica*, 10.
- Rory A. Cooper, B. M. (1998). Heavy Handed: Repetitive strain injury among manual wheelchair users. *Team Rehab Report*, 3.
- Sanz Rivas, D. (2003). *El tenis en silla de ruedas*. Barcelona: Paidotribo.
- Savransky, S. D. (2000). *Engineering of creativity*. New York: CRC Press.
- Ullman, D. G. (2003). *The mechanical design process*. New York: McGraw Hill.
- Watanabe, L. (01 de Febrero de 2009). *Mobility management*. Obtenido de <https://mobilitymgmt.com/Articles/2009/02/01/Independence-Technology-Discontinues-the-iBOT.aspx>

Watanabe, L. (01 de Marzo de 2013). *Mobility management*. Obtenido de <https://mobilitymgmt.com/Articles/2013/03/01/Vibrations.aspx>