



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL

RE-DISEÑO DE UNA ANDADERA PARA SUBIR Y BAJAR ESCALERAS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A:

BERNARDO DANIEL CONTRERAS ALCALDE

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. ADRIÁN ESPINOZA BAUTISTA



México, D.F. 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer de todo corazón el presente trabajo:

A mis padres Bernardo Enrique y Sara, por su cariño, apoyo incondicional y sus grandes consejos, pero sobre todo por creer en mí.

A mi hermano Enrique, por ser una de mis más grandes inspiraciones para seguir adelante. Y a su esposa Alba, por querer tanto a mí hermano y darme siempre su apoyo y consejo.

A mi novia Alejandra Jackeline, que con su amor y paciencia me dio eso que me faltaba para concluir éste trabajo, pero sobre todo por amarme tanto como yo la amo y siempre sacar lo mejor de mí.

A mis abuelos Olivo y Rebeca, que siempre se preocupan por mí.

A toda mi familia, pero en especial a mis primos, con los que compartí bellos y muy alegres momentos. Por mi tío chino, mi tía china y mi tía Alicia, a quienes también agradezco aunque ya no estén aquí.

A mis compañeros de la primaria Solidaridad, y en especial a Ulises (Uli) por ser más que un amigo, sino un hermano, sin importar que nos conociéramos desde que éramos bebés y me siga acompañando en cada etapa de mi vida.

A la banda de basket de la secundaria José Vasconcelos, y en especial a Iván Jonathan Daniel (el compaye) que fue un genial compañero en los trabajos escolares y un gran amigo que siempre daba el 200% por un amigo.

A la banca de la cancha 1 del CCH Azcapo donde nunca te sentías solo de tantos buenos amigos que había. Pero en especial a José Luis (Hermano) con el que encontré a otra persona igualita a mí y que desde el primer día en el CCH y hasta ahora seguimos viéndonos como si no nos dejáramos de ver un día, a pesar del tiempo.

A la banda Alizeera, de los cuales me quede con buenos recuerdos, muchas malas y buenas vivencias, grandes amigos y Recuerdos del ayer con BerDaConAl.

A todos y cada uno de mis amigos y compañeros de la Facultad con los que compartí éste camino para ser un ingeniero. Pero en especial a Fernando Ingalls (el inge), por mostrarme el gran potencial que tengo y abrirme los ojos en algunos aspectos de mi vida. Y a David Horton (Jotorton), quien a pesar de sus constantes quejas fue un excelente compañero de trabajo en todas las clases que tomé junto a él y un buen amigo.

A todos y cada uno de los maestros que tuve durante los niveles escolares, de los cuales aprendí muchas cosas.

A la Facultad de Ingeniería y a la Universidad Nacional Autónoma de México, por la formación profesional y valores que me dio.

Bernardo Daniel Contreras Alcalde

ÍNDICE

Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivo	2
1.3 Andaderas plegables. Principio de aplicación	2
Capítulo 2. Requerimientos de los clientes	6
2.1 Encuesta	6
2.2 Análisis e interpretación de los resultados	7
Capítulo 3. Método TRIZ. Niveles y sistemas evolutivos	13
3.1 El método TRIZ	13
3.2 La Matriz de Contradicciones Técnicas (MCT)	13
3.3 Niveles de evolución	14
3.4 Sistemas evolutivos	15
Capítulo 4. Aplicación de TRIZ en el re-diseño de la andadera y selección del modelo final	17
4.1 Estado actual de la andadera para subir y bajar escaleras.....	17
4.2 Matriz de contradicciones y principios básicos de solución.....	18
4.3 Propuestas de andadera	20
4.4 Selección del modelo final.....	27
Capítulo 5. Diseño de configuración del modelo final	29
5.1 Características del modelo final	29
5.1.1 Cálculo del resorte.....	29
5.1.2 Ranura corrediza	35
5.1.3 Sistema de plegado	35
5.2 Configuración del modelo final.....	36
5.3 Medidas del modelo final.....	46
5.4 Costo de materiales	51
Capítulo 6. Discusiones finales	52
6.1 Conclusiones.....	52
6.2 Oportunidades de mejora.....	53
6.3 Reflexiones personales	54
Referencias	55
Anexos	57

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Este trabajo es la continuación de una tesis en donde se desarrollo el diseño a nivel conceptual de una andadera que pudiera permitir a los usuarios subir y bajar escaleras. Para dicho efecto, este diseño fue realizado con asistencia de un estudio de patentes y la metodología TRIZ.

El diseño que se obtuvo posee la versatilidad de acoplarse a una escalera por medio de unas patas que pueden variar su longitud dando un apoyo firme al usuario para ascender o descender escaleras. También cuenta con el sistema TRISTAR el cual es una configuración de un triángulo con una rueda en cada esquina, la cual facilita el ascenso y descenso de las ruedas en los escalones gracias a la distancia que existe entre las ruedas.

Otra característica que tiene es un doble manubrio con una diferencia de alturas entre ellos, el cual se debe a que cuando la persona utiliza la andadera en terreno regular o para subir escaleras se toma del manubrio inferior y cuando se quiere descender escaleras, para compensar la altura del escalón se puede apoyar del manubrio superior, evitando así que se incline junto con la andadera.

El principio sobre el cual esta andadera se frena es por aplicación de fuerza o carga sobre la andadera. El diseño cuenta con unas barras laterales, las cuales tienen goma en la unión y tienen una longitud menor a la de las patas cuando están sin carga. Al hacer presión sobre la andadera para apoyarse y caminar la altura de las patas se reduce de tal manera que la goma de las barras laterales hace contacto con el suelo y frena el desplazamiento de la andadera en todas direcciones con los cual se tiene un apoyo firme y seguro.

A pesar de las características mencionadas, la andadera se encuentra en un primer modelo y como tal requiere de algunas mejoras que la hagan más versátil para utilizarla y transportarla, respetando el principio básico que es el subir y bajar escaleras. Para ello se realizará un estudio de patentes de andaderas plegables con la intención de encontrar la mejor manera en la cual la andadera sea más versátil.

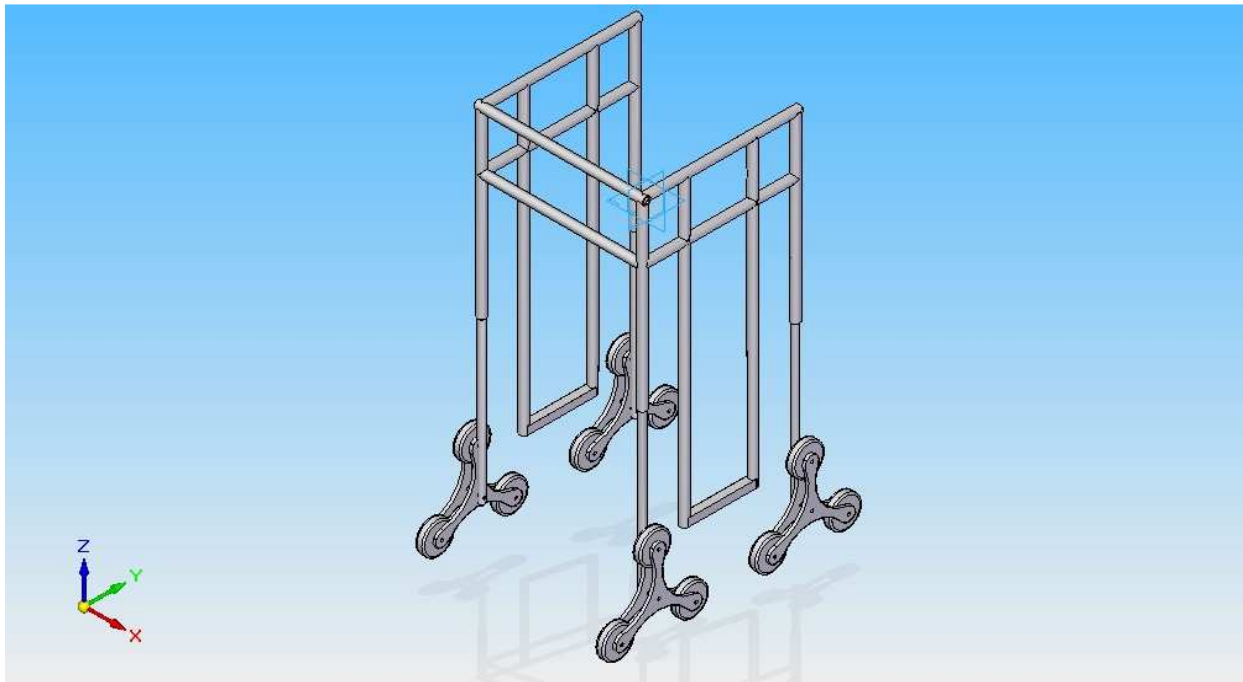


Fig.1.1 Diseño conceptual andadera para subir y bajar escaleras.

1.2 Objetivo

El objetivo de éste trabajo es tomar la esencia de la andadera para subir y bajar escaleras, y con ayuda de TRIZ lograr que ésta sea más versátil para su transporte; además de volverla más ligera que las andaderas que actualmente existen en el mercado. Todo eso con la intención de dar un paso más adelante en la evolución de la misma.

1.3 Andaderas plegables. Principio de aplicación

Desde que se inventaron las andaderas se ha podido dar a las personas mayores o con problemas motrices la oportunidad de caminar sin tanto esfuerzo. Conforme se fueron utilizando más se vio la necesidad de poder transportarlas en el microbús o en la cajuela de un automóvil. Es de aquí donde surge la idea de poder compactar la andadera y ocultar su voluminoso espacio. Desde los años 70's surgen las primeras ideas para poder compactar una andadera y a partir de ahí se han hecho múltiples ideas al respecto.

Existen modelos como son:

➤ United States Patent 3,658,079.

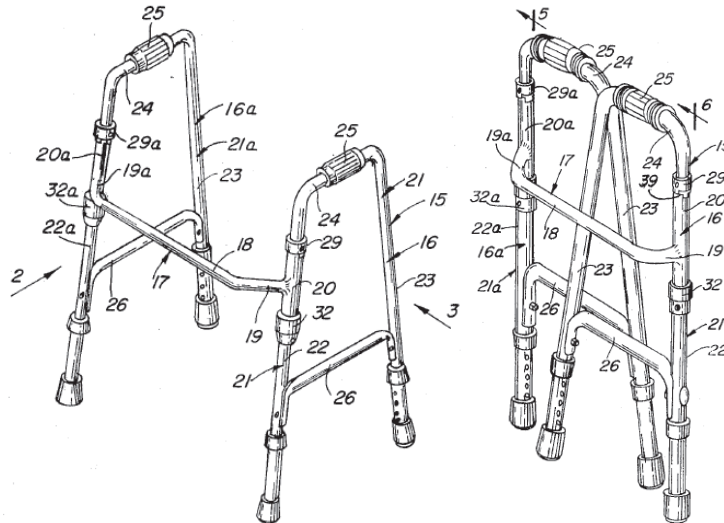


Fig.1.2 Figura de la patente 3,658,079.

➤ United States Patent 3,783,886.

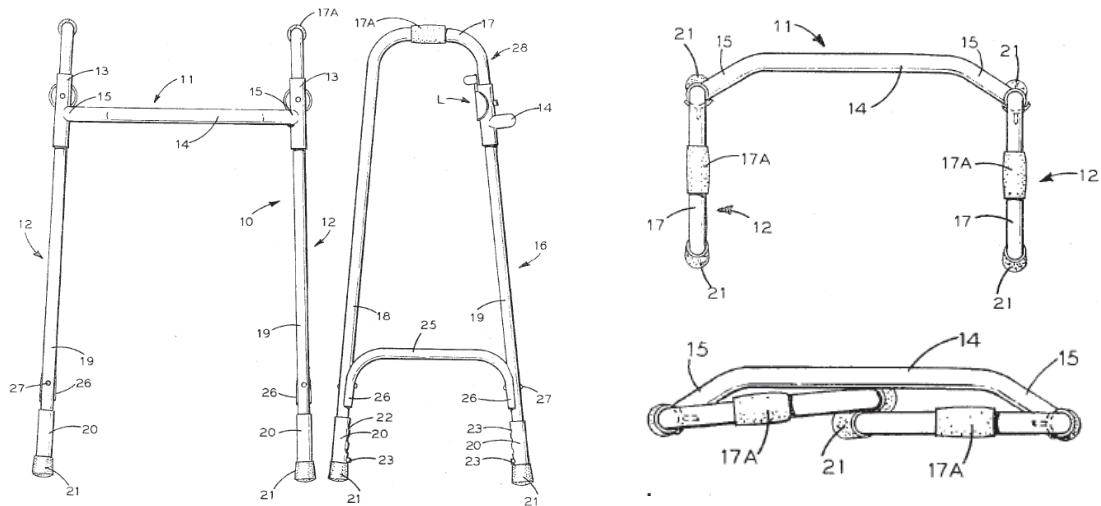


Fig.1.3 Figura de la patente 3,783,886.

➤ United States Patent 3,993,088.

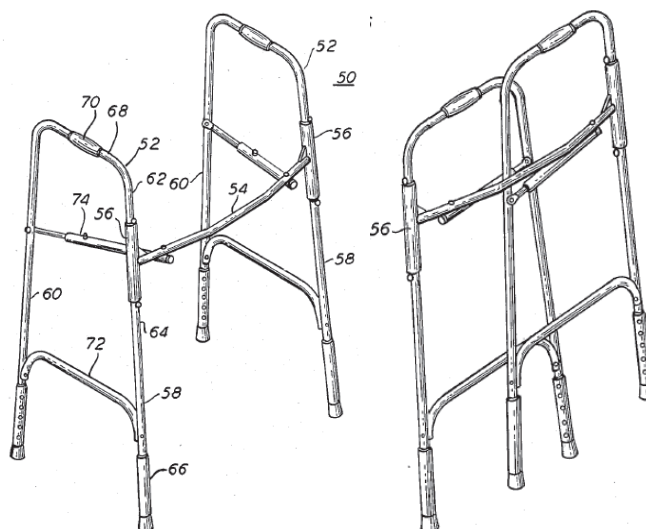


Fig.1.4 Figura de la patente 3,993,088.

En cualquiera de estos modelos, el principio básico de operación es doblar las patas laterales hacia el soporte frontal quedando solamente el volumen de la andadera reducido al no estorbar las patas laterales. Esto lo logran de varias formas como se puede observar en las figuras, ya sea zafando un soporte o liberando un tornillo guía o con un tope y una canaleta, etcétera.

Aunque en otros modelos de andaderas se le agregan ruedas para mayor comodidad en su uso, o inclusive se llegan a agregar canastas o bases para poner objetos, etcétera, el principio de reducción de volumen es el mismo. Éste sistema de reducción de espacio es el más común y el que requiere una menor cantidad de pasos para realizarse por lo cual se encuentra en andaderas que no pasan de los \$850.00

Existen otros modelos de andadera en el que el principio de reducción de volumen es completamente distinto. Algunos de estos modelos son:

- United States Patent US2007/0267835 A1.

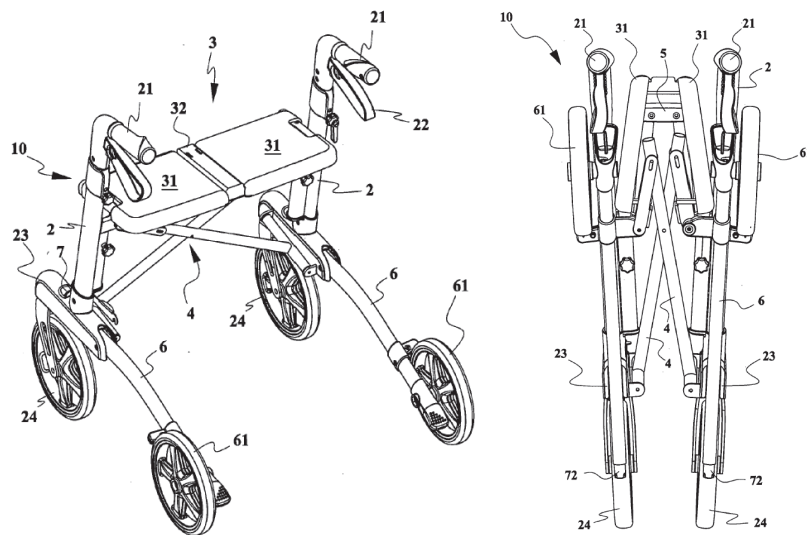


Fig.1.5 Figura de la patente US2007/0267835 A1.

- United States Patent US2010/0083994 A1.

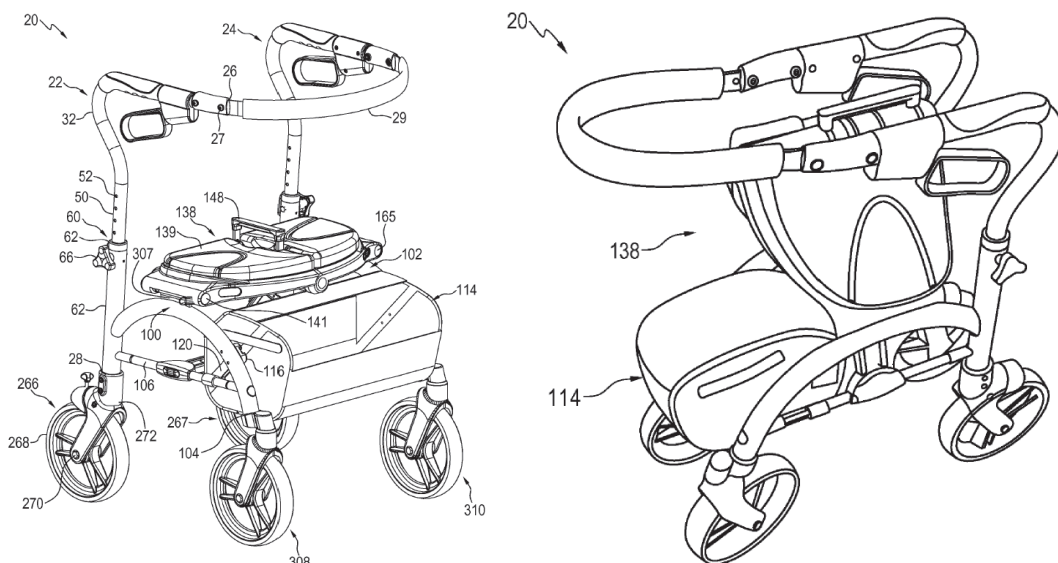


Fig.1.6 Figura de la patente US2010/0083994 A1.

Para estos tipos de andadera el principio de reducción de volumen es hacer que el soporte frontal se doble y las patas laterales se unan lo más posible, reduciendo el volumen que produce el soporte frontal.

Unas mejoras a este sistema es lograr que las patas traseras de la andadera se doblen quedando paralelas al eje de las patas delanteras, o haciendo que la parte donde se apoyan los brazos se retraiga, reduciendo su altura. Sin embargo, esta forma de reducir el espacio de la andadera requiere de muchos pasos y solo se encuentran en andaderas que superan los \$1,000.00.

Con base en lo antes visto, la andadera para subir y bajar escaleras es un proyecto que puede evolucionar de tal manera que compita con las andaderas que actualmente existen, ya que TRIZ puede brindar la forma en la que podamos reducir el volumen de la andadera de una mejor manera, inclusive superando las características de los modelos actuales.

El siguiente paso es aplicar una encuesta que ayude a definir las necesidades que tienen actualmente los usuarios de andaderas y mostrarles el potencial tan grande que tiene la andadera para subir y bajar escaleras.

CAPÍTULO 2

REQUERIMIENTOS DE LOS CLIENTES

Ésta es la continuación de un prototipo de andadera para subir y bajar escaleras. Sin embargo, como todo prototipo, se buscan mejoras que la hagan más eficiente, funcional y más atractiva a los usuarios.

2.1 Encuesta

Para conocer los requerimientos de los clientes o sus opiniones se aplicaron unas encuestas en el Centro Gerontológico “Arturo Mundet” (residencia para personas de la tercera edad) y en la Clínica no.58 del I.M.S.S.

Las personas seleccionadas para la encuesta fueron personas, tanto hombres como mujeres de la tercera edad, así como aquellas que utilizan una andadera, ya sea por rehabilitación o por discapacidad motriz.

El formato de la encuesta es el siguiente:



ENCUESTA A USUARIOS DE ANDADERAS



1.- Forma en que se pliega la andadera.

a) Caras laterales b) Frontal

2.- ¿Cuántas andaderas ha tenido?

a) 1 (pregunta 4) b) 2 o más (pregunta 3)

3.- ¿Por qué cambió de andadera?

R =

4.- ¿Cuánto tiempo tiene con su andadera?

R =

5.- ¿Está conforme con la andadera que utiliza actualmente?

a) Si (pregunta 6) b) No (pregunta 7)

6.- ¿Qué partes le agradan?

R =

7.- ¿Qué modificaciones le haría?

R =

8.- ¿Cuánto pagó aproximadamente por su(s) andadera(s)?

R =

9.- Si existiera una andadera, con ruedas, que tuviera la versatilidad de poderse adaptar a cualquier irregularidad del terreno, además de poder subir y bajar escaleras sin la necesidad de cargarla. ¿Usted la compraría?

a) Si b) No (termina encuesta)

10.- ¿Estaría dispuesto a pagar más por la andadera antes descrita, que la que tiene actualmente?

a) Si b) No

2.2 Análisis e interpretación de los resultados

Se aplicaron las encuestas a 21 personas entre hombres y mujeres con la necesidad de utilizar una andadera.

A continuación se muestran, en gráficas de pastel, los resultados que se obtuvieron para cada una de las preguntas, generalizando las respuestas y agrupándolas de tal manera que se puedan representar en porcentajes.

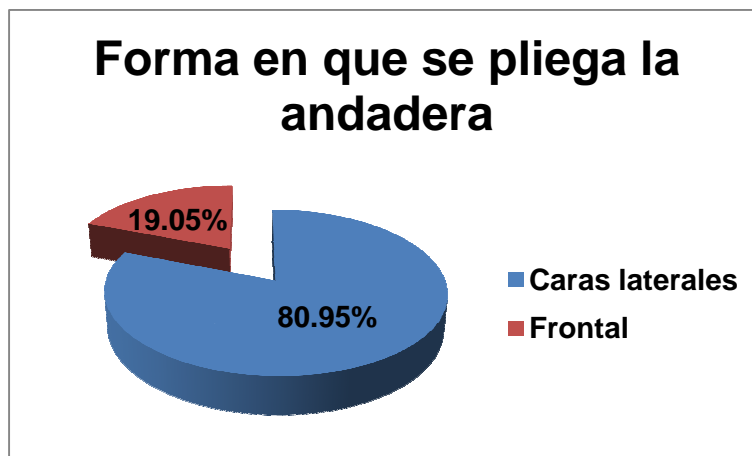


Fig.2.1 Forma de plegado de la andadera de las personas entrevistadas.

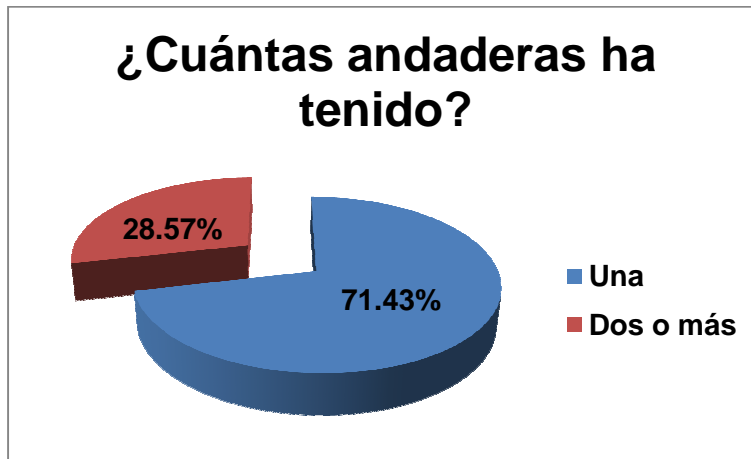


Fig.2.2 Cantidad de andaderas que han utilizado las personas entrevistadas.

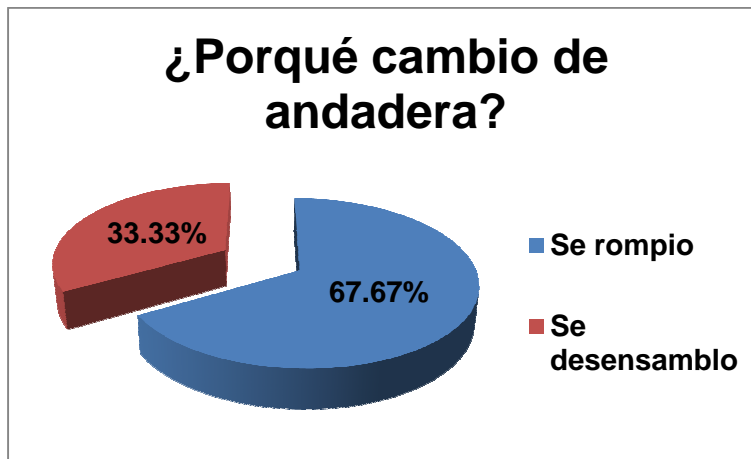


Fig.2.3 Motivo del cambio de andadera de las personas entrevistadas.

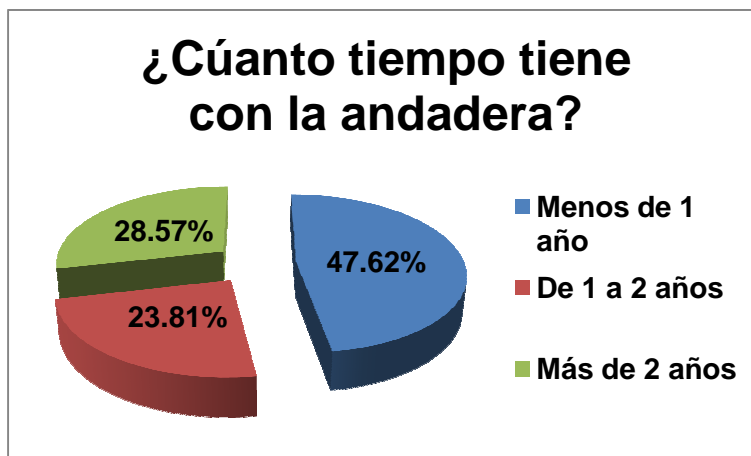


Fig.2.4 Tiempo que tienen con su andadera las personas entrevistadas.



Fig.2.5 Conformidad con su andadera de las personas entrevistadas.

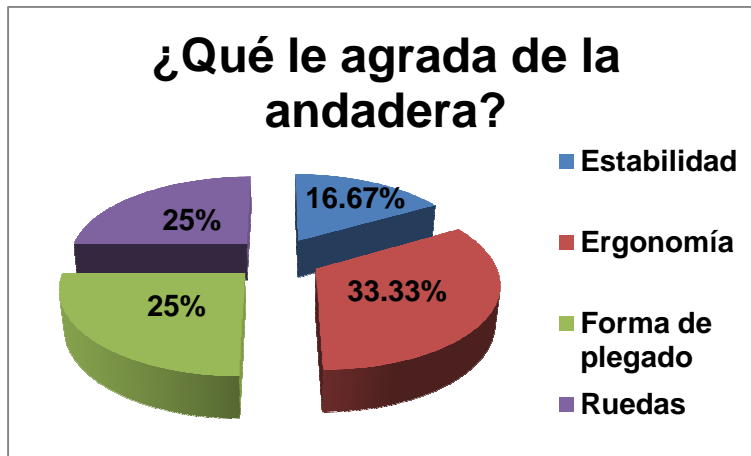


Fig.2.6 Característica que más les agrada de su andadera a las personas entrevistadas.

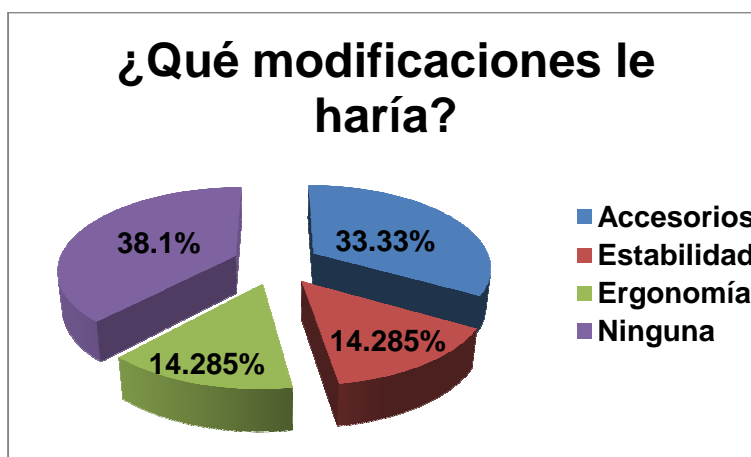


Fig.2.7 Modificaciones que harían a su andadera las personas entrevistadas.



Fig.2.8 Costo de la andadera de las personas entrevistadas.



Fig.2.9 Disposición de las personas entrevistadas por comprar la andadera diseñada.

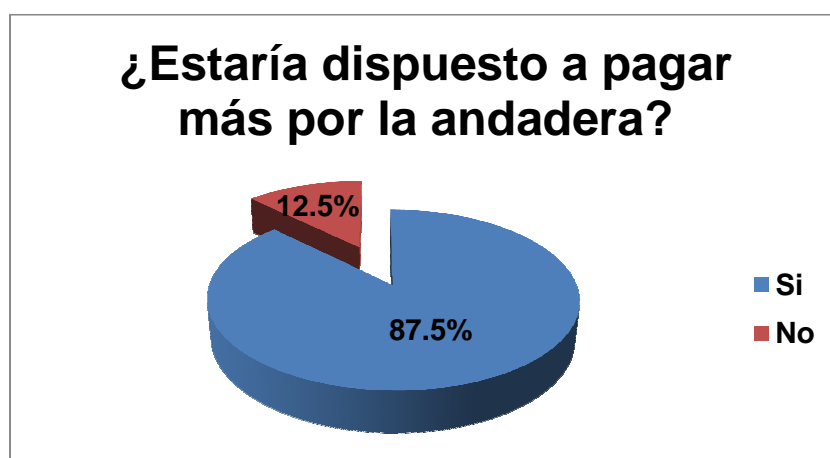


Fig. 2.10. Disposición de las personas entrevistadas por pagar más por la andadera diseñada.

Toda esta información recabada es de gran utilidad para identificar las necesidades que tienen las personas mayores que se ven en la necesidad de utilizar una andadera para poder caminar.

Sin embargo, durante la realización de las encuestas se encontró que existen dos tipos de usuarios para las andaderas: las personas que utilizan la andadera para rehabilitarse de alguna lesión u operación en las piernas, quienes utilizan la andadera en un tiempo no mayor a un año y buscan algún aparato que les dé autonomía en sus actividades; y los que utilizan la andadera de forma definitiva, los cuales son adultos mayores a los 70 años.

Las personas lesionadas u operadas tienen una gran aceptación por las modificaciones que pueda tener una andadera que los ayude a no depender tanto de otras personas para realizar sus actividades, mientras que las personas que utilizan la andadera de forma definitiva no aceptan tan fácilmente la introducción de nuevas andaderas. Sin embargo, esta reacción se puede justificar ya que no han visto y probado la andadera, con lo cual podría cambiar si lo llegaran a utilizar.

De aquí, y por los comentarios realizados por las personas encuestadas, se observaron cuatro necesidades:

- Que la andadera se pueda plegar o desarmar fácilmente.

Las personas que utilizan andadera requieren que ésta se pueda plegar para no ocupar un gran espacio, ya sea para su transporte en un automóvil o transporte público, o simplemente para almacenarla dentro de una casa cuando no sea necesario utilizarla.

- Que incluya un mecanismo de frenado visible y de fácil uso.

Al utilizar la andadera sobre superficies irregulares o para subir y bajar escaleras, las personas necesitan un apoyo, el cual es proporcionado por la andadera. Sin embargo, para lograr esto se necesitan frenar las ruedas y que el usuario pueda accionar éste freno de manera sencilla. Además de que, cuando se puede ver la forma de frenado y asegura visualmente el accionamiento del freno, se da a los usuarios una seguridad en su uso.

- Que sea segura y ergonómica.

Cuando una persona depende de una andadera, ya sea como apoyo para caminar o estar parado en un lugar. La seguridad que ésta pueda brindar al usuario es indispensable, ya que de ello depende que el usuario la siga utilizando o la compre para sustituir a otra. Por otra parte, al hacer ergonómica esta andadera se puede, por un lado, ampliar el número de usuarios potenciales al dar la opción de ajustar la altura de la misma; y por otro lado, se puede aumentar la comodidad en el uso de la andadera.

- Que permita subir y bajar escaleras.

Éste es el valor agregado que brinda al usuario que la utiliza y puede hacer que la persona no dependa tanto de un ayudante para desplazarse por un lugar.

Una vez identificados los requerimientos de los clientes. En el siguiente capítulo se explicará la metodología TRIZ, la cual será la que nos proporcione las herramientas necesarias para realizar posibles re-diseños a la andadera con base en las especificaciones de los clientes.

CAPÍTULO 3

MÉTODO TRIZ. NIVELES Y SISTEMAS EVOLUTIVOS

3.1 El método TRIZ

La teoría de la solución de problemas de inventiva (TRIZ, por sus siglas en ruso) fue desarrollada por Genrich Altshuller y sus colegas en la ex U.R.S.S. a comienzos de 1946. Altshuller fue un ingeniero naval que estaba encargado de la publicación de patentes. La principal preocupación de Altshuller era el cómo enseñar a cualquier persona el pensamiento sistemático de los genios, de tal manera que todos fueran capaces de proponer nuevas patentes o ideas innovadoras.

Cuando alguien descubre algo, deja registrado éste conocimiento en una patente, es decir, todo conocimiento nuevo o innovador se plasma en patentes. Altshuller estudió más de 200 mil patentes existentes en esa época en el mundo, tratando de entender qué acciones se tomaron para patentar cualquier conocimiento nuevo. Altshuller se dio cuenta de qué acciones en particular se repetían en una o más patentes, a lo cual denominó principios de inventiva; estos se resumieron en cuarenta principios generales. En toda invención se aplica uno, dos o más de estos principios.

De esta manera es que nace la metodología TRIZ. La cual nos enseña los principios inventivos que se utilizaron cuando se realizó cualquier patente en la historia del conocimiento. Por lo que, cualquier persona que tenga la iniciativa de innovar y trabaje esta metodología podrá descubrir todo un mundo de oportunidades para realizarlo.

3.2 La Matriz de Contradicciones Técnicas (MCT)

Altshuller construyó la Matriz de Contradicciones Técnicas (MCT). Dicha matriz tiene como entradas en filas 39 Parámetros Técnicos (considerados como efectos secundarios indeseables) y como entradas en columnas los mismos parámetros pero considerados como características a mejorar. Las celdas de la matriz presentan números que se refieren a los principios inventivos adecuados para resolver cada contradicción.

Evidentemente los principios no son una solución directa a la contradicción, sino una línea de razonamiento para encontrar la solución. Las casillas de la matriz que quedan vacías corresponden a contradicciones técnicas que no se pueden dar o que no están resueltas.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de cómo se utiliza la Matriz de Contradicciones Técnicas (MCT), donde los números dentro del recuadro representan los principios inventivos: 3.Longitud de un objeto en movimiento, 5.Área de un objeto en movimiento y 32.Facilidad de fabricación.

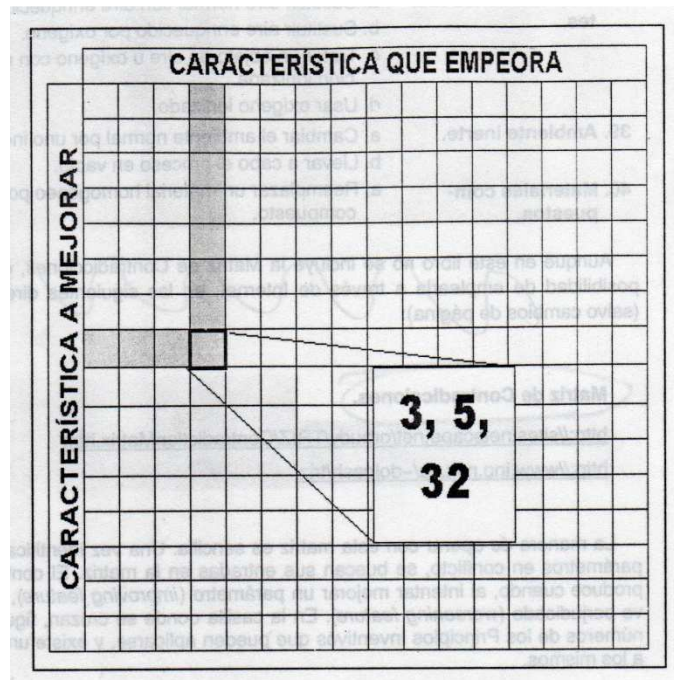


Fig. 3.1 Matriz de Contradicciones Técnicas

3.3 Niveles de evolución

Altshuller clasificó cada descubrimiento o innovación que encontró como propio de un nivel de inventiva y determinó que existen cinco niveles de inventiva, los cuales son:

Nivel uno. Problemas de diseño rutinarios solucionados por métodos conocidos dentro de la especialidad. No es necesaria ninguna invención.

Nivel dos. Mejoras menores a un sistema existente, por métodos conocidos dentro de la industria. Por lo general con algún compromiso.

Nivel tres. Mejora fundamental a un sistema existente, por métodos conocidos fuera de la industria. Las contradicciones se resolvieron.

Nivel cuatro. Una generación nueva que una, un principio nuevo para realizar las funciones primarias del sistema. La solución se encontró más en la ciencia que en la tecnología.

Nivel cinco. Un descubrimiento raro o invención pionera de un sistema en esencia nuevo.”¹

Con los problemas del primer nivel, el producto no se modifica. En el segundo nivel, el producto se modifica, pero no considerablemente. En el tercer nivel, el producto se modifica esencialmente y en el cuarto, es totalmente modificado. En el quinto nivel, el sistema técnico en que se utiliza este producto se transforma por completo. En estos niveles de evolución, la principal característica es que existe una mejora notable con respecto al sistema anterior.

¹ <http://blog.pucp.edu.pe/media/avatar/387.pdf>

3.4 Sistemas evolutivos

La evolución de sistemas busca posibles soluciones a problemas tecnológicos, además explora las posibles tendencias evolutivas para un sistema o producto, ya que éstos siempre evolucionan hasta su idealidad, limitados por la utilización de la tecnología existente. Estas tendencias están basadas en un pronóstico de las vías por las cuales los sistemas o productos se han desarrollado históricamente. Altshuller y su equipo descubrieron ocho modelos de evolución que ayudan a predecir las posibles mejoras que pueden realizarse a un producto desarrollado. Dichos sistemas de evolución son:

- “1. *Completar las Partes del Sistema*. Una condición indispensable de un sistema técnico complicado viable es la disponibilidad y la capacidad de trabajo mínima de las partes principales del sistema. Estas partes pueden ser descritas como motor, transmisión, elemento ejecutivo (herramienta), y sistema de control.
2. *Conductividad de energía de un Sistema*. Una condición indispensable de un sistema técnico viable es el paso de energía por todas las partes del sistema. Si una parte no trabaja, entonces el sistema entero no trabajará.
3. *Armonización del Ritmo de las Partes del Sistema*. Una condición indispensable del rendimiento total de un sistema técnico es la coordinación de ritmos o cadencias (frecuencia de oscilación, periodicidad) de todas las partes de un sistema.
4. *Incremento de Idealidad*. El desarrollo de todos los sistemas se orienta en la dirección de incremento de su idealidad mediante fiabilidad creciente, simplicidad y eficacia con el menor costo, el menor espacio y el menor gasto de energía.
5. *Desarrollo desigual de los Elementos del Sistema*. El desarrollo de los elementos del sistema por lo general no transcurre uniformemente. La mayor complejidad del sistema, implica mayor desarrollo no uniforme entre sus elementos y subsistemas.
6. *Transición a un Supersistema*. Habiéndose reducido las oportunidades del desarrollo adicional, la función del sistema es transferida al supersistema como una de sus partes. Así, el desarrollo adicional continúa en el nivel de supersistema.
7. *Dinamización*. El desarrollo del sistema se realiza en la dirección de aumento de la movilidad y la controlabilidad entre elementos del sistema añadiendo conexiones.
8. *Transición de Macro - a Micro Nivel*. El desarrollo de un elemento ejecutivo del sistema (herramientas) se orienta al principio en el nivel macro-, y luego en un micronivel.
9. *Incremento del Desarrollo Sustancia-Campo*. El desarrollo de sistemas técnicos sigue la dirección de aumentar el número de sistemas sustancia-campo y sus conexiones.”²

² <http://www.innovacion-sistematica.net/is/curso-introduccion/evolucion-de-sistemas-leccion-10>

“A veces en la literatura inventiva estos modelos son llamados “líneas” o “tendencias” de evolución. Altshuller llamó estas tendencias “leyes” y las clasificó en tres grupos, que fueron llamados: “estáticos” (tendencias 1-3), “cinemáticos” (4-7) y “dinámicos” (8 y 9). Las tendencias estáticas describen el período de nacimiento y formación del sistema técnico. Las tendencias cinemáticas definen el período de crecimiento y florecimiento del sistema. Las tendencias dinámicas están relacionadas con el período de desarrollo de la conclusión del sistema y la transición a un nuevo sistema. Altshuller publicó esta lista en 1979 y la tendencia de dinamización fue incluida más tarde, en 1986.”³

De aquí, y con la información mencionada, surge la necesidad de conocer el estado actual de la andadera y con ello conocer el nivel de evolución en el que se encuentra, para que así podamos ver los posibles sistemas evolutivos en los que se deba prestar más atención para lograr que la andadera avance un nivel más en su evolución o se empaten todas las características de la misma.

³ <http://www.innovacion-sistematica.net/is/curso-introduccion/evolucion-de-sistemas-leccion-10>

CAPÍTULO 4

APLICACIÓN DE TRIZ EN EL RE-DISEÑO DE LA ANDADERA Y SELECCIÓN DEL MODELO FINAL

4.1 Estado actual de la andadera para subir y bajar escaleras

Como primer paso se realiza una tabla para evaluar la andadera para subir y bajar escaleras en los aspectos que competen a las necesidades de los clientes, obtenidas en el capítulo 2:

- Que la andadera se pueda plegar o desarmar fácilmente
- Que incluya un mecanismo de frenado visible y de fácil uso
- Que sea segura y ergonómica
- Que permita subir y bajar escaleras.

Su evaluación se hace de manera cualitativa de acuerdo a una escala del 1 al 3. En donde, al no cumplir con la característica se califica con 1, si cumple parcialmente con ello obtiene 2, y 3 cuando cumple en su totalidad con la característica evaluada.

Tabla 4.1 Estado actual de la andadera para subir y bajar escaleras.

	1	2	3
Fácil plegado	X		
Frenado fácil y visible		X	
Seguridad y ergonomía		X	
Suba y baje escaleras			X

En la evaluación de las características de la andadera, se obtuvieron los siguientes resultados:

Como la andadera es un armazón de tubos de aluminio soldados, no cuenta con un sistema de plegado. Por lo que no cumple con el requerimiento de fácil plegado.

La andadera cuenta con unas gomas en la parte inferior del soporte las cuales, además de dar apoyo al subir y bajar escaleras, frenan la andadera en los escalones o, si se apoya hasta el piso las gomas, ofrecen un frenado para que la andadera no se mueva cuando el usuario la utiliza. Sin embargo el frenado no bloquea el movimiento de las llantas, y se necesita hacer mucha presión sobre la andadera para lograr frenarla. Debido a esto la andadera cumple parcialmente con el requerimiento de frenado fácil y visible.

En cuanto a seguridad y ergonomía. Para el diseño de la andadera se hicieron estudios al sistema TRISTAR, pero no se tomó en cuenta el estudio del armazón y los puntos de unión, además de que no se tiene en cuenta la ergonomía en el usuario más que en un doble manubrio para que el usuario mantenga la misma altura respecto a la andadera

cuando suba o baje escaleras. Por todo esto, la andadera cumple parcialmente con el requerimiento de seguridad y ergonomía.

El valor agregado sobre otras andaderas comerciales es que brinda la facilidad de utilizarla para caminar, subir y bajar escaleras. Este requerimiento lo cumple muy bien la andadera.

Como se puede observar, las áreas de oportunidad para un re-diseño son:

- La plegabilidad de la andadera.
- Sistema de frenado.
- La seguridad y la ergonomía.

4.2 Aplicación de la Matriz de Contradicciones Técnicas (MCT)

Con éstas áreas de oportunidad se puede llevar a la andadera para subir y bajar escaleras un paso adelante en su evolución. Sin embargo, estas características deben ser interpretadas o traducidas a su forma más abstracta o general para que TRIZ nos dé las soluciones generales más usadas y particularizar esa solución al caso de la andadera.

Dado que en la tesis anterior se realizó un extenso análisis al sistema TRISTAR para subir y bajar escaleras, ésta característica es la única que cumple su función en su totalidad y se procurará mantenerlo tal cual se diseño anteriormente.

El primer campo de oportunidad es la plegabilidad de la andadera. Como lo explica el método TRIZ, alguna característica se va a empeorar para que ganemos la plegabilidad que deseamos de la andadera.

Basándonos en los 39 parámetros de TRIZ la plegabilidad de la andadera se puede traducir en:

- 8. Volumen del objeto estacionario.
- 12. Forma.

Por otro lado tenemos los aspectos que se verán afectados en el modelo inicial al darle la plegabilidad que queremos, estos parámetros son:

- 13. Estabilidad del objeto.
- 14. Resistencia.
- 33. Facilidad de operación.

Analizando con detenimiento cada uno de los parámetros que deseamos mejorar para la plegabilidad, se deduce que:

- Al cambiar la *forma*, se puede disminuir la *estabilidad del objeto* o la *resistencia* de la estructura de la andadera.
- Al reducir el *volumen del objeto estacionario* se aumenta la *facilidad de operación*, ya que al plegarse la andadera se puede transportar más fácilmente.

Para lograr que la andadera se pueda plegar o reducir su volumen para su fácil transportación. La MTC con los parámetros mencionados propone utilizar los principios de solución:

1. Segmentación.
40. Materiales compuestos.
4. Asimetría.
31. Materiales porosos.

El segundo campo de oportunidad es un sistema de frenado fácil y visible. Para lograr esto los parámetros a mejorar son:

33. Facilidad de operación.
13. Estabilidad del objeto.
32. Facilidad para la fabricación.

Los parámetros que se verían afectados son:

23. Pérdida de materia.
37. Complejidad de control.
29. Precisión en la manufactura.

En éste caso se deduce lo siguiente:

- Al aumentar la *facilidad de fabricación* se disminuye la *precisión en la manufactura*, ya que mientras más precisa sea la manufactura de un objeto o pieza, se tiene una mayor cantidad de procedimientos para su realización.
- Al aumentar la *facilidad de operación* del sistema de frenado, se disminuye la *complejidad de control* del mismo.
- Se desea en la andadera, que el sistema de frenado mantenga a la andadera estable cuando la persona camina, ya sea en piso o en escaleras, para mantener la andadera estable se produce un desgaste en el sistema de frenado, lo cual se traduce en una pérdida de materia. Por esto se necesita aumentar la *estabilidad conforme se pierda materia*.

Para poder diseñar un sistema de frenado fácil de utilizar y visible, los principios de solución propuestos por la MTC son:

30. Membranas delgadas.
31. Materiales compuestos.

En el tercer, y último campo de oportunidad se tiene la seguridad y la ergonomía de la andadera. Para poder entender los parámetros a modificar, primero se tiene que entender el concepto de ergonomía. La ergonomía es en general aceptada como el análisis de la interacción que existen entre los humanos y las máquinas u objetos que utilizamos con el propósito de promover un bienestar al humano y optimizar el uso de los objetos.

Una vez definido el término de ergonomía, se pueden ver los parámetros que necesitan mejorar para la seguridad y ergonomía de la andadera, los cuales son:

16. Durabilidad de un objeto en movimiento.
33. Facilidad de operación.

Por el contrario, los parámetros que se ven afectados son:

1. Peso de un objeto en movimiento.
19. Energía gastada por un objeto en movimiento.

En este caso se deduce lo siguiente:

- Se espera que la andadera tenga una gran *durabilidad de un objeto en movimiento*, por lo que sería ideal el reducir la *energía gastada por el objeto en movimiento*, para mantener en óptimas condiciones todas las partes de la andadera.
- Dado que la andadera será utilizada por una persona, la cual puede o no tener la fuerza suficiente para soportar su peso, resulta necesario disminuir el *peso del objeto en movimiento* para lograr aumentar la *facilidad de operación* de la andadera.

Para lograr que la andadera sea más segura y ergonómica para los usuarios, los principios de solución propuestos por la MCT son:

3. Calidad local.
24. Usar un mediador.

4.2 Propuestas de andadera

Con base en los resultados obtenidos con la MCT, los parámetros y consideraciones mencionados, se obtienen los fundamentos necesarios para proponer diversos re-diseños a la andadera. Dichos re-diseños utilizan algunos principios de solución encontrados y, con base en un análisis minucioso de cada uno de estos principios se determinan los más adecuados para realizar las propuestas. Las propuestas de andadera son:

1) Re-diseño de andadera 1 o Andadera plegable y sin bordes.

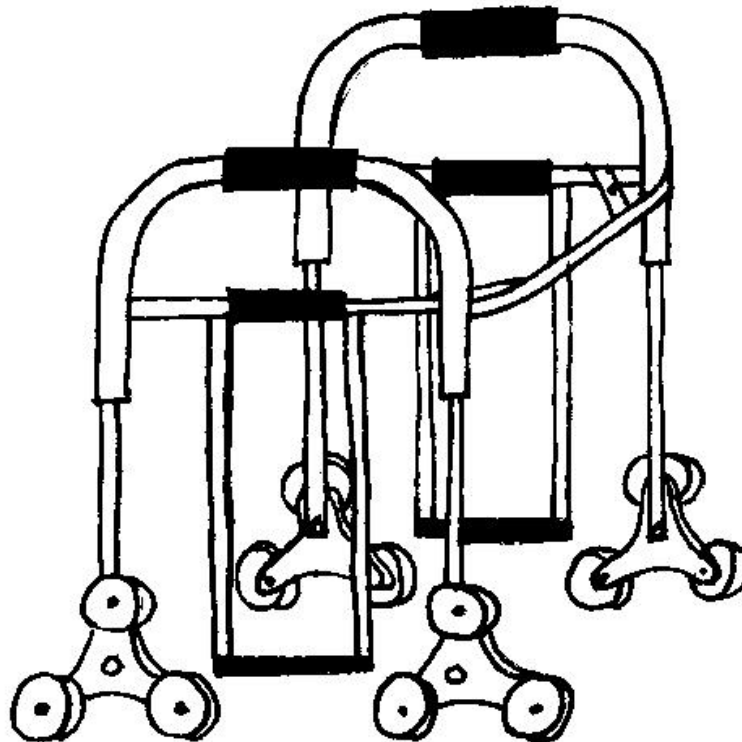


Fig.4.1 Re-diseño 1.

Para este re-diseño, se toma el armazón original de la andadera con la modificación de que la estructura no tenga filos o bordes con los cuales una persona pueda cortarse. La andadera consta de un resorte interno en cada pata, con el principio de aplicación de reducir o aumentar la altura de las patas de la andadera para que ésta se amolde a los escalones.

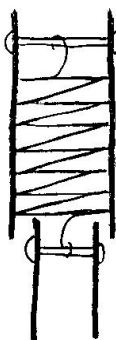


Fig.4.2 Sistema de regulación de altura de las patas.

Utilizando el principio de *segmentación*, la estructura de la andadera no está soldada, sino que contiene partes unidas con articulaciones los cuales permiten la plegabilidad de la andadera, tal y como se puede ver en las andaderas plegables comerciales. A continuación se muestra un esquema de la forma en la que se pliega la andadera (se excluye el sistema TRISTAR en la patas de la andadera por cuestión de dibujo).

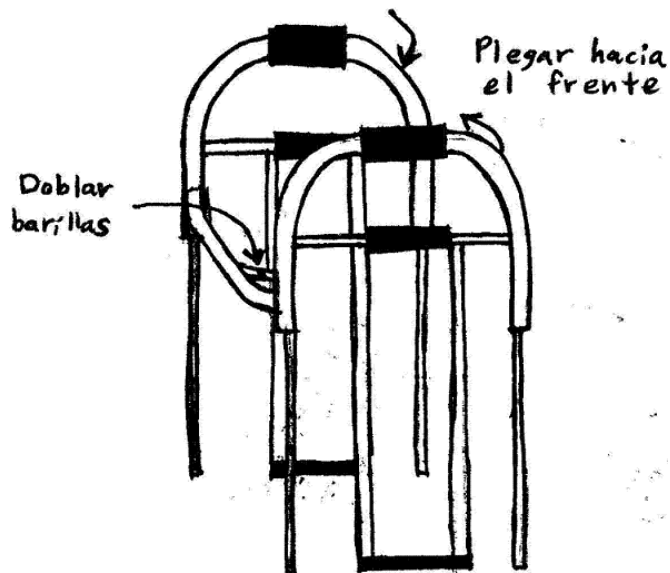


Fig.4.3 Forma de plegado andadera.



Fig.4.4 Andadera plegada.



Fig.4.5 Andadera plegada vista superior.

Para el sistema de frenado se utiliza el principio de *materiales compuestos*; dado que el principio de frenado es el mismo que en el modelo original, se utiliza el alto coeficiente de fricción que tienen materiales como la goma o el caucho en el suelo, junto con la dureza que tiene la estructura de la andadera para que al forrarlo con la goma o el caucho se logre un sistema de frenado seguro y perceptible a simple vista. Basado en el principio de *uso de un mediador*, el diseño tiene partes plásticas o de hule espuma en donde interaccione con el usuario para brindar un mejor apoyo y ergonomía.

2) Re-diseño de andadera 2 o Andadera triangular.

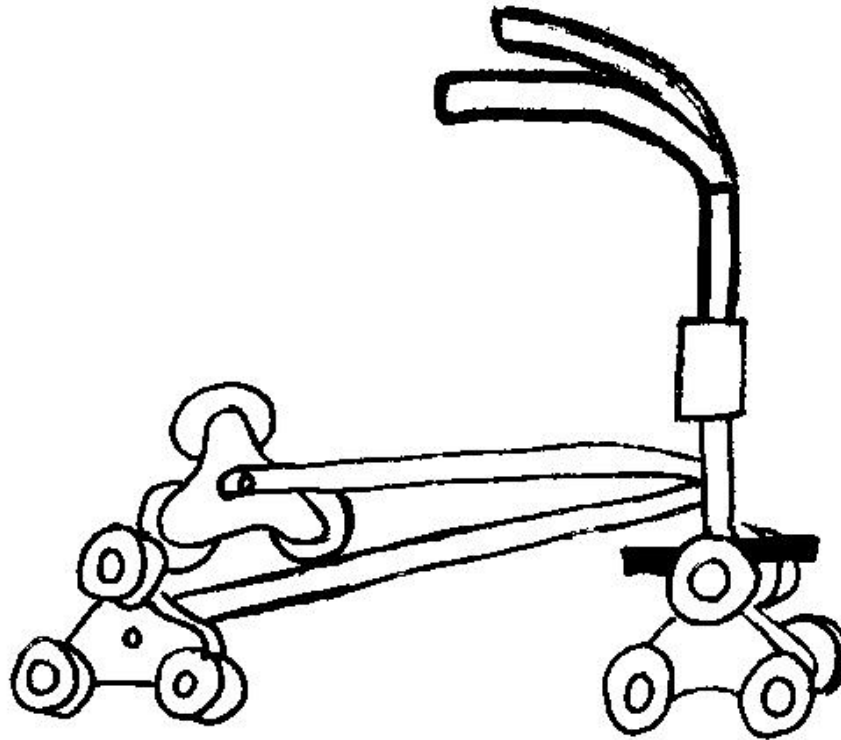


Fig.4.6 Re-diseño 3.

Dado que en éste re-diseño los principios utilizados para la plegabilidad, el frenado y la ergonomía son los mismos que en el re-diseño anterior, se explicará lo más detalladamente posible el funcionamiento y las características de este re-diseño.

Para éste re-diseño las modificaciones son más notorias que en el anterior, ya que se reduce el número de patas de 4 a 3. Para el re-diseño, se toma como base las andaderas de tres patas que existen en el mercado (dos patas traseras y una delantera), con la modificación de que las patas traseras no van soldadas a la estructura, simplemente son sujetadas por un perno y un resorte con abrazadera plástica, lo cual permite que se acoplen a un escalón con ayuda de la triple rueda integrada en cada pata.

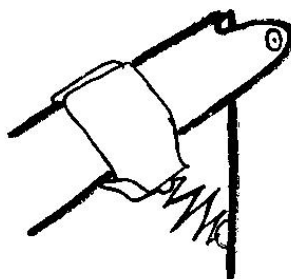


Fig.4.7 Abrazadera plástica.

La pata delantera consta de una triple rueda doble para brindar mayor seguridad al ser el apoyo del usuario, además de contar con un resorte similar al sistema para reducción de altura de las patas del re-diseño 1, con la diferencia de que se utiliza un tubo de mayor diámetro, con esto se lograra que se acople la andadera al escalón y

para regular la altura del manubrio se cuenta con un sistema de botón (el mismo que se aplica para los bastones o lo paraguas).



Fig.4.8 Sistema de regulación de altura pata delantera.

La plegabilidad de la andadera consiste en zafar las patas traseras de las abrazaderas y colocarlas en la pata delantera; se cierra el manubrio para formar de una V una I y se sube una abrazadera para que no se abra nuevamente; y por último se reduce la altura del manubrio lo más que permita el sistema de botón.

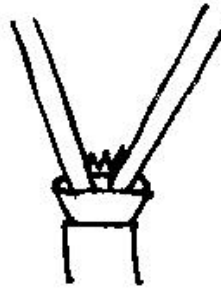


Fig.4.9 Manubrio con resorte y abrazadera.

A continuación se muestra un esquema del procedimiento para realizar el plegado de la andadera.

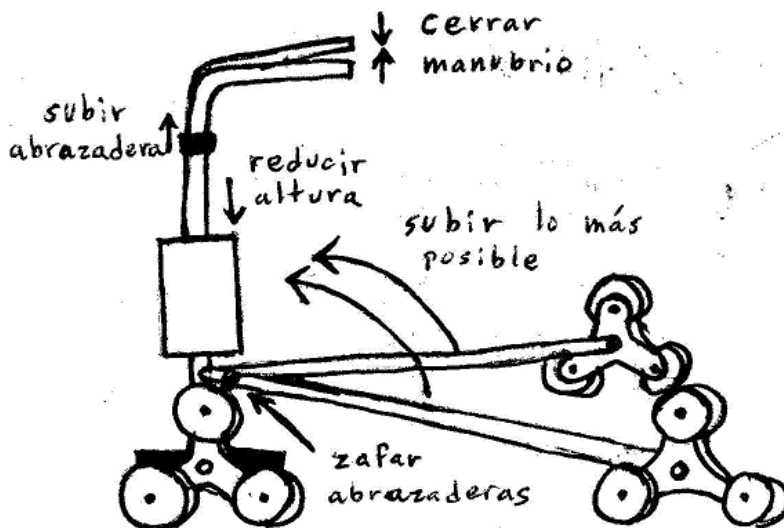


Fig.4.10 Forma de plegado andadera.

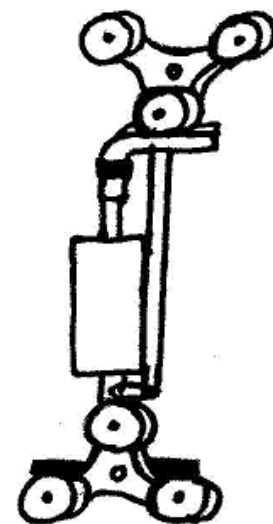


Fig.4.11 Andadera plegada.

El sistema de frenado es una suela que envuelve parcialmente la triple rueda delantera, la cual esta unos centímetros separado del piso, lo cual con el peso del usuario al

apoyarse en la andadera aplica el mismo principio que el sistema de frenado de la andadera original.



Fig.4.12 Goma de frenado pata delantera.

El manubrio de la andadera contiene partes plásticas o de hule, dado que es la parte que mayor interacción tiene con el usuario; además de que el manubrio no es tan rígido como la demás estructura a fin de brindar mayor ergonomía y seguridad.

3) Re-diseño de andadera 3 o Andadera fusión.

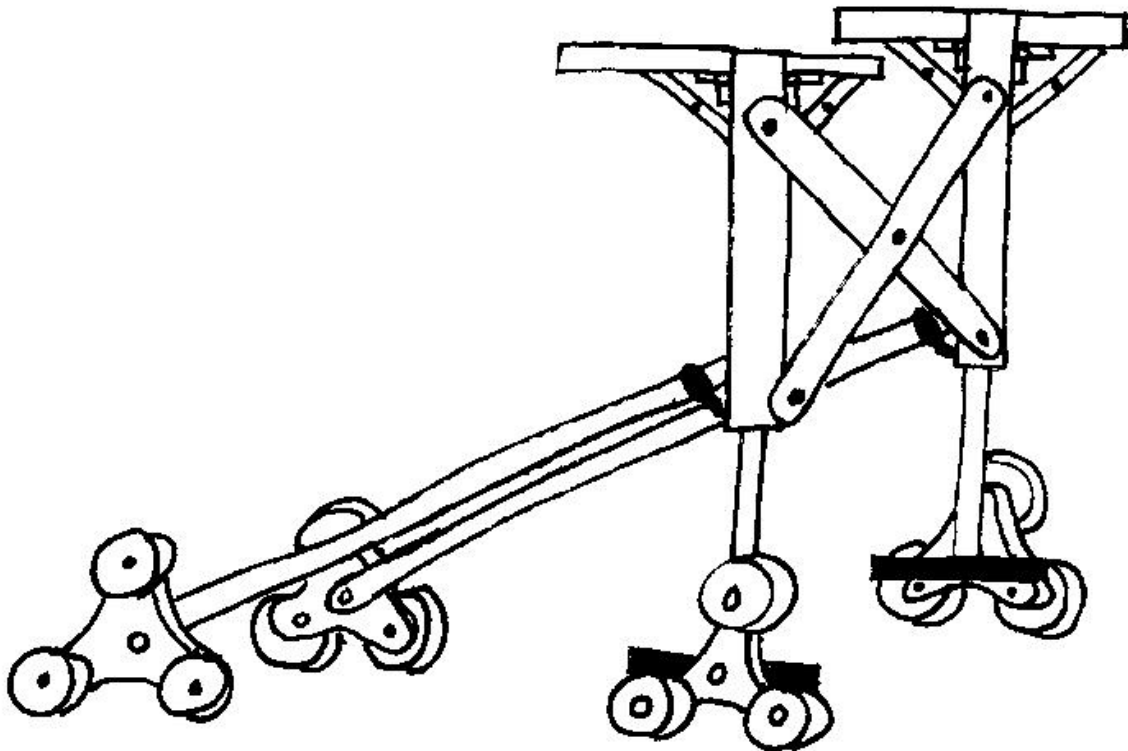


Fig.4.13 Re-diseño 3.

El nombre de esta andadera se debe a que para su concepción se tomaron algunas características de los re-diseños anteriores. Por lo cual, los principios utilizados para la plegabilidad y el sistema de frenado son los mismos aunque aplicados de diferente manera. La seguridad y ergonomía utiliza dos principios de solución, los cuales serán explicados junto con las demás características del re-diseño.

Este re-diseño presenta una andadera de cuatro patas, con el mismo sistema en las patas traseras que el re-diseño 2, con la diferencia de que en lugar de estar apoyadas las patas traseras en un solo punto, se apoya de su correspondiente pata delantera. La

parte delantera consta de dos tubos, los cuales tienen dentro un resorte que cumple la misma función que en el re-diseño 1 y una articulación entre los tubos en forma de X, el cual permite a la andadera plegarse de la cara frontal. El manubrio es simplemente un par de tubos sujetos por una barra, los cuales pueden juntarse a la cara frontal al momento de plegarse. La forma en que se regula la altura de la andadera es mediante un sistema de botón en cada una de las patas delanteras. La forma de plegar la andadera para las patas traseras es similar al re-diseño 2. Para la parte frontal se doblan los manubrios hasta que estén en contacto con la cara frontal; se reduce la altura del manubrio con el sistema de botón y se cierra la X de tal manera que las partes laterales queden lo más juntas posibles. A continuación se muestra un esquema de los pasos antes mencionados para el plegado de la andadera.

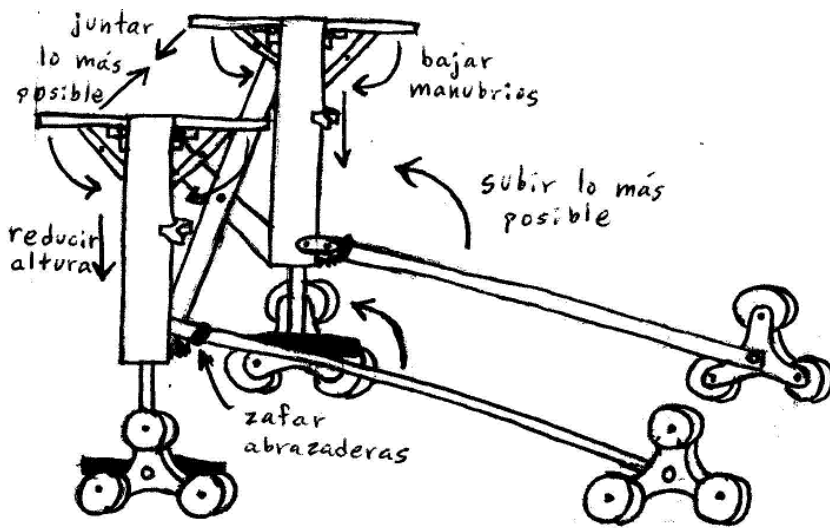


Fig.4.14 Forma de plegado andadera.

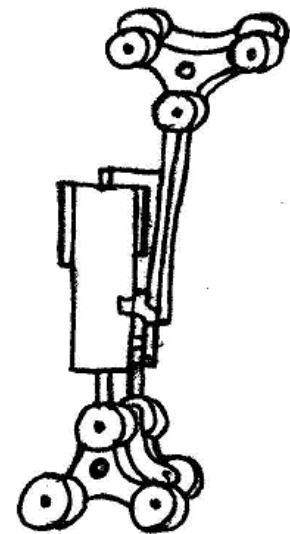


Fig.4.15 Andadera plegada.

El sistema de frenado, consta de unas barras forradas de goma o caucho colocadas en la parte interna de las patas delanteras de la andadera, teniendo estas barras la libertad de girar 360° para que al subir o bajar la andadera, el usuario al apoyarse en la andadera la frene por el contacto de la goma o caucho con el suelo.

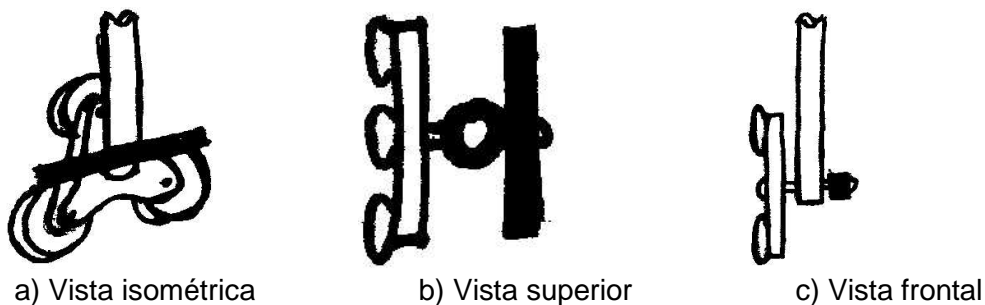


Fig.4.16 Goma de frenado pata delantera izquierda.

Utilizando el principio de *calidad local*, éste re-diseño tiene la peculiaridad de que la andadera se utiliza por detrás (como normalmente se utilizan las andaderas) para andar en plano y para subir escaleras; y se utiliza de frente (al revés de como se utilizan) cuando se bajan escaleras. Además con el principio de *uso de un mediador* cuenta con plástico o hule en el manubrio para confort y seguridad del usuario.

4.3 Selección del modelo final

Ya que se tienen los posibles re-diseños para la andadera. Ahora resulta necesario evaluar las características de cada re-diseño en base a los requerimientos, dado que estos fueron los principios sobre los cuales trabajamos a la andadera para su re-diseño, para con esto garantizar que cumpla total o parcialmente con ellos y se brinde un óptimo desempeño.

Al final del capítulo 2 se obtuvieron 4 requerimientos de las personas que utilizan andadera:

- 1) Que la andadera se pueda plegar o desarmar fácilmente.
- 2) Que incluya un mecanismo de frenado visible y de fácil uso.
- 3) Que sea segura y ergonómica.
- 4) Que permita subir y bajar escaleras.

Con base en experiencias obtenidas al aplicar las encuestas a los usuarios, y con el propósito de realizar una mejor evaluación a las propuestas, se asigna un porcentaje diferente a cada uno de los aspectos dependiendo de la importancia que los usuarios dieron a cada requerimiento.

Para la evaluación de los posibles re-diseños con base en los requerimientos mencionados, se utiliza una escala de 0, 0.5 y 1: en el cual 0 representa que el re-diseño no cumple con el requerimiento, 0.5 significa que se cumple parcialmente o con dificultad y 1 que se cumple totalmente o de manera fácil.

Tabla 4.2 Matriz de decisión.

	Fácil plegado (15%)		Frenado fácil y visible (30%)		Seguridad y ergonomía (35%)		Subir y bajar escaleras (20%)		Total [%]
Re-diseño 1	1	15	1	30	0.5	17.5	1	20	77.5
Re-diseño 2	0.5	7.5	1	30	0.5	17.5	0.5	10	65
Re-diseño 3	0.5	7.5	1	30	0.5	17.5	1	20	75

Para el re-diseño 1, se tiene un sistema de plegado utilizado por las andaderas comerciales y que ha demostrado ser muy eficaz y simple. El sistema de frenado aplica el principio de accionarse con el peso de la persona con el cual cumple con ser visible y fácil de aplicar. Debido a su diseño se tiene una estructura estable en las cuatro patas, cuidando de no dejar filos y agregando partes suaves en donde la andadera interactúa con las personas, sin embargo no se contempla la posibilidad de ajustar la altura de la andadera. Por último, dado que el principio de acción para subir y bajar escaleras es el más parecido al del diseño original, la andadera es capaz de subir y bajar escaleras sin mayor dificultad.

Para el re-diseño 2, se tiene un sistema de plegado un poco más complejo pero con el cual se reduce mucho más el tamaño final de la andadera. El sistema de frenado aplica el principio de presión contra el suelo como el modelo original, pero solamente la pata delantera tiene frenado, además de que el freno resulta muy estorboso al momento de subir y bajar escaleras. Aunque el diseño tiene estabilidad para soportar una persona y

regular su altura, en caso de un tropiezo la estructura no tiene el suficiente apoyo, por lo cual la persona no estaría segura al momento de utilizarla. Por último tenemos la necesidad de subir y bajar escaleras pero, como ya se dijo, esta función queda limitada por el sistema de frenado.

Para el re-diseño 3, se tiene un sistema de plegado muy similar al del re-diseño 2, lo cual hace de éste algo complejo pero de una reducción de volumen muy buena. Como en los otros dos re-diseños el sistema de frenado por presión del usuario resulta de fácil uso y visible. La limitante de estabilidad que se tenía para el re-diseño 2 se omite en este re-diseño, ya que al contar con dos patas delanteras se tiene el suficiente apoyo para que una persona sienta seguridad al usarla, sin embargo se tiene el problema de que las patas traseras ofrecen muy poco apoyo al usuario, ya que simplemente están sujetas a modo de que no se doblen más de cierto ángulo, establecido por la longitud del resorte utilizado en la abrazadera plástica. Para subir y bajar escaleras éste re-diseño no tiene mayor dificultad, ya que se le brinda una libertad de giro al sistema de frenado, lo cual hace que la barra con goma gire al chocar con un escalón y se amolde al mismo sin obstruir el ascenso y descenso de la andadera.

Con base en lo mencionado y en lo observado en la tabla de evaluación realizada a cada uno de los re-diseños, se obtiene que la andadera que mejor cumple con las necesidades de los usuarios es el re-diseño 1. El cual se analizará más detalladamente en el siguiente capítulo, ya que lo planteado en éste capítulo fue únicamente la idea o el principio básico, por lo que se profundizará más en el re-diseño y se realizarán los estudios correspondientes para garantizar su óptimo desempeño.

CAPÍTULO 5

DISEÑO DE CONFIGURACIÓN DEL MODELO FINAL

En el capítulo anterior se dio una breve descripción de cada una de las propuestas de re-diseños y se seleccionó el modelo que mejor cumple con las necesidades de los usuarios. En éste capítulo se explicará más detalladamente las partes del re-diseño que sean importantes para su funcionamiento, así como los principios por los cuales funciona el modelo final y los materiales que lo constituyen.

5.1 Características del modelo final

Durante el desarrollo del diseño de la andadera, ésta puede sufrir modificaciones de una o más partes o componentes; las características y los materiales de cada componente se darán conforme se vayan analizando y desarrollando, cuidando de permanecer intacto el principio de funcionamiento explicado en el capítulo anterior.

5.1.1 CÁLCULO DEL RESORTE

Uno de los componente principales de la andadera, además del sistema TRISTAR, son los resortes que van en las patas de la andadera. Los resortes juegan un papel muy importante en el diseño de la andadera, ya que son los encargados de absorber las vibraciones causadas por la interacción entre las llantas de la andadera y el suelo, así como de la regulación de la alturas en las patas al momento de utilizar la andadera en las escaleras. Las dimensiones y características de este componente nos darán una mejor idea de las dimensiones de nuestra andadera, así como también del tamaño de los tubos que se utilizarían.

Para el cálculo de los resortes que se utilizan en la andadera, se toman en cuenta las especificaciones dadas en la bibliografía generalmente aceptada⁴.

En el modelo original de andadera, se realizó el cálculo de los resortes con la idea de que los resortes soportaran una tercera parte del peso de una persona mayor y el peso de la propia andadera, sin embargo esto hace que el resorte sea muy rígido e incómodo para los usuarios, ya que la persona tendría que recargarse completamente en la andadera para accionar los resortes correctamente. En un estudio más detallado al diseño, se observó que es más ergonómico que el usuario aplique una carga menor con los brazos para hacer descender la andadera hasta que la barra de frenado haga contacto con el piso, con lo cual el resorte deja de actuar y la carga se distribuya en la armadura de la andadera. Para este resorte se tiene contemplado que cargue con el peso de la propia andadera sin que se deforme demasiado, además de que una persona mayor al utilizar cualquier tipo de andadera comercial está constantemente cargando el peso de la andadera con sus brazos, lo cual nos puede dar una idea de la

⁴ FAIRES, Virgil Moring. *Diseño de elementos de máquinas*, 4ª ed., Ed. Montaner y Simón S.A., Barcelona, 1977.

fuerza que una persona mayor puede aplicar con sus brazos, el cual puede llegar a ser de 6 kg.

Como un primer paso para el cálculo del resorte, se desea que haya una deformación de 40 cm y en base en lo antes mencionado esta deformación es debido a una carga de 6 kg, sin embargo esta carga se divide entre las 4 patas de la andadera, dando como resultado una carga de 1.5 kg

Con base en lo anterior, entonces se requiere diseñar un resorte o muelle helicoidal de compresión de alambre cuerda de piano ASTM A228 de extremos escuadrados sin amolar y con lazos redondos completos, el cual soporte una fuerza $F = 1.5$ kg, con una distancia de compresión de $\delta = 40$ cm, será de uso medio, aproximadamente 10^5 aplicaciones de la fuerza. El resorte deberá tener una longitud libre $L = 1.0$ m y un diámetro medio de $D_m = 1.905$ cm (3/4 de pulgada).

Solución.

Utilizando las fórmulas y el procedimiento de cálculo planteados en la bibliografía generalmente aceptada⁵ y cotejando con otro libro de diseño mecánico⁶, se realizarán los cálculos necesarios para el diseño del resorte.

Son tantas las incógnitas que habrá que admitirse algunos supuestos. Obsérvese que en la fig. AF-15 de los anexos K no varía mucho dentro del intervalo normal de los resortes, por lo cual es atinado admitir que $K = 1.3$. Por la tabla AT-17 de los anexos, el esfuerzo de cálculo para alambre cuerda de piano en servicio medio se tiene:

$$S_{sd} = 0.324S_u \dots(a)$$

$$S_{sd} = 0.324 \left(\frac{15420}{D_w^{0.154}} \right) = \frac{4996.08}{D_w^{0.154}} \dots(a')$$

Igualando el esfuerzo de cálculo (S_{sd}) con el esfuerzo inducido (S_s) y despejando el diámetro del alambre (D_w) de la formula da:

$$S_s = \frac{K \cdot 8 \cdot F \cdot D_m}{\pi \cdot D_w^3} = \frac{4996.08}{D_w^{0.154}} \dots(b)$$

$$D_w^{2.846} = \frac{K \cdot 8 \cdot F \cdot D_m}{4996.08 \cdot \pi} \dots(c)$$

Sustituyendo los valores de las incógnitas en (c) da como resultado $D_w^{2.846} = 1.8934 \times 10^{-3}$ o bien $D_w = 0.1105$ cm. De la tabla AT-15 de los anexos, el diámetro Washburn y Moen más aproximado es la Galga 18, sin embargo el resorte realizado con este diámetro excede el ángulo de paso permitido para los cálculos del resorte, si utilizamos el siguiente valor de alambre, o sea la Galga 17, el resorte no

⁵ FAIRES, Virgil Moring. *Diseño de elementos de máquinas*, 4ª ed., Ed. Montaner y Simón S.A., Barcelona, 1977.

⁶ SHIGLEY, Joseph Edward. *Manual de diseño mecánico Tomo III*, 4ª ed., Ed. ,McGraw-Hill, México, 1989, pp. 668.

resiste la carga aplicada, por lo que se toma el valor siguiente, o sea la Galga 16 o $D_w = 0.1588$ cm, con el cual los valores resultan aceptables y resiste sin mayor dificultad. Cotejando en la tabla AT-17 de los anexos con el material especificado anteriormente se sugiere un diámetro de alambre en el rango de $[0.01\text{cm} < D_w < 0.487\text{ cm}]$, por lo que el diámetro asignado es adecuado.

A pesar de lo anterior, se tiene que realizar una comprobación con la finalidad de conocer los valores exactos de las cargas que soporta el resorte con el diámetro asignado. Con los valores conocidos de diámetro medio del resorte (D_m) y diámetro del alambre (D_w) se procede a calcular el índice del resorte (C) y posteriormente el coeficiente de corrección de esfuerzo (K):

$$C = \frac{D_m}{D_w} \dots(d)$$

$$K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C} \dots(e)$$

Sustituyendo los valores de las incógnitas en (d) y (e) da como resultado $C = 11.99$ y $K = 1.12$, con lo cual da, sustituyendo valores en (b), un esfuerzo inducido (S_s) de $S_s = 2035.13\text{ kgf/cm}^2$ o bien 199.575 MPa .

De la misma manera, sustituyendo los valores de las incógnitas anteriormente especificadas en (a) da un esfuerzo de cálculo, o esfuerzo admisible (S_{sd}), de $S_{sd} = 6632.82\text{ kgf/cm}^2$ o bien 650.457 MPa . Dado que $S_{sd} > S_s$, entonces el diámetro de alambre asignado resistirá la carga.

Se procederá al cálculo del número de espiras (N_c), mediante la fórmula:

$$N_c = \frac{\delta \cdot G \cdot D_w}{8 \cdot F \cdot C^3} \dots(f)$$

De la tabla AT-17 se observa que el valor de G para el material utilizado en este problema es $G = 0.8437 \times 10^6\text{ kgf/cm}^2$. Los demás valores están especificados en los párrafos anteriores y sustituyéndolos en (f) se obtiene que $N_c = 260$ espiras.

Según la tabla AT-16 de la bibliografía la altura comprimido a cierre (en inglés, solid height, SH) para un resorte de extremos escuadrados es:

$$SH = N_c \cdot D_w + 3D_w = D_w(N_c + 3)\dots(g)$$

Sustituyendo los valores de las incógnitas en (g) da que $SH = 41.7644\text{ cm}$.

Las ecuaciones antes utilizadas son exactas cuando el resorte constituye una bobina de espiras muy poco separadas, máximo 12° . Realizando el cálculo de dicho ángulo, primero hallamos el paso, de la tabla AT-16 de los anexos para la longitud libre ($L = 100\text{ cm}$) de un resorte de extremos escuadrados es:

$$L = 100 = P \cdot N_c + 3D_w \dots(h)$$

$$P = \frac{100-3D_w}{N_c} \dots (h')$$

Sustituyendo los valores de las incógnitas en (h') se obtiene que $P = 0.3828$ cm. El ángulo de paso resulta entonces:

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{P}{\pi \cdot D_m} \right) \dots (i)$$

Sustituyendo los valores de las incógnitas en (i) da $\lambda = 3.66^\circ$ o bien $3^\circ 39' 36''$. Dado que $\lambda < 12^\circ$, los cálculos realizados son validos.

Otro cálculo necesario para comprobar que el resorte diseñado se resistirá la carga es calcular el esfuerzo de cierre, para lo cual se hará la siguiente consideración. Para una constante de resorte de $k = F/\delta$, lo cual da $k = 0.0375$ kgf/cm², la fuerza necesaria para comprimir el resorte hasta cerrarlo completamente es $F_{\text{cierre}} = k (L - SH)$, lo cual da $F_{\text{cierre}} = 2.1838$ kgf. Como el esfuerzo es proporcional a F , el esfuerzo de cierre se obtiene adoptando el valor del esfuerzo inducido, el cual fue calculado anteriormente, con lo cual queda:

$$\text{Esfuerzo de cierre} = \frac{F_{\text{cierre}}}{D_m} \cdot S_s \dots (j)$$

Sustituyendo los valores de las incógnitas en (j) da *Esfuerzo de cierre* = 2332.97 kgf/cm² o bien 228.786 Mpa. Comprobando el valor anterior con el esfuerzo de cierre admisible indicado en la tabla AT-17 de los anexos para el material utilizado se tiene:

$$S_{sy} = 0.5S_u = 0.5 \cdot \frac{15420}{D_w^{0.154}} = \frac{7710}{D_w^{0.154}} \dots (k)$$

Sustituyendo el valor del diámetro del alambre (D_w), anteriormente especificado, en (k) se obtiene que $S_{sy} = 10235.84$ kgf/cm² o bien 1003.793 MPa. Dado que $S_{sy} > \text{Esfuerzo de cierre}$, el resorte no se deforma permanentemente si se comprime hasta el cierre.

Después de todo lo anterior se requiere todavía el radio del lazo (r_m) y el diámetro del mismo. Debido a que para el diseño de la andadera se tiene contemplado el uso de tornillería de media pulgada o 1.27 cm, resulta atinado asignar dicho valor como diámetro interno del lazo. El radio del lazo (r_m) se calcula, según la bibliografía, mediante la siguiente fórmula:

$$C = \frac{2r_m}{D_w} \dots (l)$$

despejando r_m

$$r_m = \frac{C \cdot D_w}{2} \dots (l')$$

Sustituyendo los valores de las incógnitas en (l') da que $r_m = 0.952$ cm.

Por último calcularemos el esfuerzo provocado en el lazo utilizando la misma fuerza, aunque el lazo no esté expuesto a esa carga bajo condiciones normales de uso:

$$S_s = \frac{8 \cdot K_c \cdot F \cdot D_m}{\pi \cdot D_w^3} \dots (m)$$

calculando K_c

$$K = K_c \cdot K_s \dots (n)$$

despejando K_c

$$K_c = \frac{K}{K_s} = \frac{K}{1 + \frac{0.5}{C}} \dots (n')$$

Sustituyendo los valores de las incógnitas en (n') da $K_c = 1.07$, de igual manera, sustituyendo los valores de las incógnitas en (m) da $S_s = 1944.28 \text{ kgf/cm}^2$ o bien 190.668 MPa . Como $S_{sd} > S_s$, entonces el lazo resiste bajo las condiciones establecidas.

Por último, y como dato adicional a las especificaciones del resorte se necesita un tubo de aluminio en el cual se pueda introducir el resorte sin que éste genere tanta fricción ni quede tan holgado para evitar que se pandee al comprimirlo.

Con base en los catálogos de materiales y perfiles de la distribuidora *Cobralum S.A. de C.V.*⁷, se tiene que el tubo más adecuado es un tubo redondo de 22.225 mm de diámetro (7/8 de pulgada) de aluminio 6063 T-5 con un espesor de pared de 1.2446 mm, el diámetro interior del tubo seleccionado es $D_{int \text{ tubo}} = 22.225 \text{ mm}$ y el diámetro exterior del resorte resulta $D_{ext \text{ resorte}} = D_m + D_w = 2.0638 \text{ cm}$. Con el valor del diámetro interno y el diámetro exterior del resorte del tubo se procede a calcular la tolerancia que existe entre el resorte y la pared interna del tubo.

$$Tolerancia = D_{int \text{ tubo}} - D_{ext \text{ resorte}} \dots (o)$$

Sustituyendo los valores de los diámetros en (o) da como resultado que la tolerancia es $Tolerancia = 0.1587 \text{ cm}$, o bien 1.587 mm , lo cual cumple con no ser tan pequeño como para que el resorte friccione con el tubo y no tan holgado como para que el resorte se pandee dentro del tubo.

Con todo lo anterior. se tiene diseñado un resorte que soporte la carga ejercida con los brazos de una persona mayor y con lo cual el resorte se comprime 40 cm. Sin embargo, no se tiene contemplada la deformación que sufre el resorte debido al peso de la estructura de la andadera. A pesar de la omisión del peso de la estructura en los cálculos anteriores, se tiene un resorte al cual únicamente se le hace la modificación de sumarle la deformación debida al peso de la estructura. Con ayuda del software de diseño *Solid Edge Versión ST3* se conoce el peso de la armadura de la andadera es de 2.334 kg, una vez conocido este valor aplicamos la Ley de Hook con el valor de carga encontrado $F = 0.5835 \text{ kgf}$ y conociendo la constante de nuestro resorte $K = 1.12$ se

⁷ <http://cobralum.com.mx/tubo-a.htm>

puede saber cuánto se comprime el resorte debido al peso de la andadera mediante la fórmula:

$$K = \frac{F}{\delta} \dots (p)$$

despejando δ

$$\delta = \frac{F}{K} \dots (p')$$

Sustituyendo los de las incógnitas en (p') da una compresión del resorte de $\delta = 0.521$ cm.

Una vez conocido el valor de la compresión de nuestro resorte debido al peso de la andadera, se realiza nuevamente el cálculo del esfuerzo admisible (S_{sd}), el esfuerzo inducido (S_s), número de espiras (N_c), la longitud sólida del resorte (SH), el paso (P), el ángulo de paso (λ) y el Esfuerzo de cierre. Utilizando como la compresión del resorte la resultante del propio peso de la andadera más la deseada de 40 cm, planteada, se tiene que la compresión total del resorte es de $\lambda = 40.521$ cm, y como carga aplicada la suma de la carga debido al peso de la andadera y la aplicada en el cálculo anterior con lo que resulta una fuerza total de $F = 2.0835$ kgf.

Utilizando estos nuevos valores de fuerza y compresión, junto con los demás valores especificados al principio del problema se obtiene que, sustituyendo los valores de las incógnitas en (m), da un esfuerzo inducido $S_s = 2826.8$ kgf/cm² o bien 277.214 MPa. Como el diámetro del alambre no se cambia el resultado obtenido en (a') para el esfuerzo admisible resulta el mismo que se calculo anteriormente, por lo que $S_{sd} > S_s$ por lo cual el alambre utilizado soportará la carga total ejercida.

Utilizando (f) y sustituyendo los valores de las incógnitas da $N_c = 188$ espiras. Una vez conocido el número de espiras del resorte se calcula su longitud sólida (SH) con ayuda de (g), lo cual da $SH = 30.33$ cm. Lo siguiente es calcular el paso del resorte, sin embargo, para éste cálculo se utiliza la longitud libre del resorte, el en cálculo anterior se utilizó una longitud libre $L = 100$ cm pero ahora tenemos que considerar la deformación que sufrirá el resorte debido al peso de la andadera por lo que queda una longitud libre $L = 100.521$ cm para garantizar que el resorte mida 100 cm con el peso de la andadera; sustituyendo valores en (h') da $P = 0.5321$ cm.

Como se explicó en el cálculo anterior del resorte, un criterio muy importante para la realización del resorte es el ángulo de paso (λ), utilizando (i) y sustituyendo los valores de las incógnitas da $\lambda = 5.0809^\circ$ o bien $5^\circ 4' 51.24''$ y como $\lambda < 12^\circ$ los cálculos son exactos y el resorte se puede fabricar.

Por último se necesita saber el Esfuerzo de cierre ya que, aunque la andadera nunca comprimirá completamente el resorte en uso normal, existe la posibilidad de que el resorte se comprima hasta el cierre por lo que se debe garantizar el funcionamiento del resorte en esta condición. Como se explica en el cálculo anterior obtenemos primero

una k_{cierre} con los nuevos valores de fuerza y deformación por lo que $k_{\text{cierre}} = 0.05142$ kg_f/cm y con esto se obtiene una fuerza de cierre $F_{\text{cierre}} = 3.61$ kg_f y sustituyendo valores en (j) da un *Esfuerzo de cierre* = 5356.82 kg_f/cm² o bien 525.324 MPa, dado que el alambre utilizado es el mismo el esfuerzo de cierre admisible (S_{sy}) resulta igual al del anterior cálculo, por lo que $S_{\text{sy}} > \text{Esfuerzo de cierre}$ y el resorte no se deforma permanentemente si se comprime por completo.

De lo todo lo anterior se tiene entonces un resorte de extremos escuadrados sin amolar de alambre cuerda de piano ASTM A228 con las siguientes características:

- Diámetro medio de 1.905 cm
- Diámetro del alambre de 0.1588 cm o Galga 16
- 191 espiras totales
- 188 espiras activas
- Longitud libre de 100.521 cm
- Longitud sólida de 30.33 cm
- Paso entre espiras de 0.5321 cm
- Ángulo de paso de 5.0809°
- Lazo redondo completo con diámetro interno de 1.27 cm
- Radio de lazo de 0.952 cm

5.1.2 RANURA CORREDIZA

En el diseño anterior de la andadera al momento de que ésta se utiliza para bajar escaleras, las patas delanteras deben bajar 20cm para hacer contacto con el escalón. Sin embargo, éste funcionamiento no era del todo eficiente, ya que el resorte no lograba bajar las patas delanteras la distancia necesaria con lo cual la andadera se encontraba por momentos inestable.

Para éste re-diseño se tiene contemplado una ranura en el armazón el cual permita que las patas delanteras o traseras puedan bajar libremente la distancia necesaria para mantener el contacto con el piso de las patas, aun cuando se esté bajando un escalón, manteniendo en todo momento la estabilidad de la misma. Dicha ranura actúa únicamente cuando la andadera necesita alargar una de sus patas, y dado que la mayor distancia que se debe considerar es la altura de un escalón, la ranura tiene una distancia de 20 cm.

5.1.3 SISTEMA DE PLEGADO

El sistema de plegado se tiene considerado de tal manera que se realice en el menor número de acciones posibles, con el fin de facilitar su uso. Además, se busca la versatilidad de que dicho sistema de plegado interfiera lo menos posible con la forma de las caras laterales para facilitar la manufactura de la andadera.

El sistema de plegado de la andadera consta de dos barras, uno de menor diámetro que el otro, para reducir un poco el tamaño de la andadera plegada al introducir un tubo dentro del otro al momento de plegarse. El accionador del plegado es un sistema de botón que se encuentra localizado en la parte central de la andadera, o en la unión entre el tubo de diámetro mayor y el menor, y mediante unos tornillos que sujetan las

caras laterales de la andadera, éstas se pliegan hacia el frente. A esto hay que agregarle un seguro que se encuentra en cada una de las caras laterales de la andadera, los cuales aseguran una y sólo una posición de las caras para cuando la andadera esté abierta. El número total de acciones necesarias para realizar el completo plegado de la andadera, conforme a la configuración diseñada es:

- 1) Presionar el botón del sistema de plegado y abrirla para hacer más ancha la andadera.
- 2) Jalar el seguro de la cara derecha y plegarla hacia la parte frontal de la andadera lo más que se pueda.
- 3) Jalar el seguro de la cara izquierda y plegarla hacia el frente de la andadera lo más posible.
- 4) Presionar el botón del sistema de plegado y cerrarlo lo más posible.

5.2 Configuración del modelo final

Durante el proceso de diseño del modelo final de andadera, ésta ha sufrido algunas modificaciones en su estructura, sin perder la idea principal del principio de subir y bajar escaleras. De igual manera, el sistema de plegado fue cambiado desde su primera concepción con la finalidad de hacerlo más dinámico y que permita el correcto plegado de la misma.

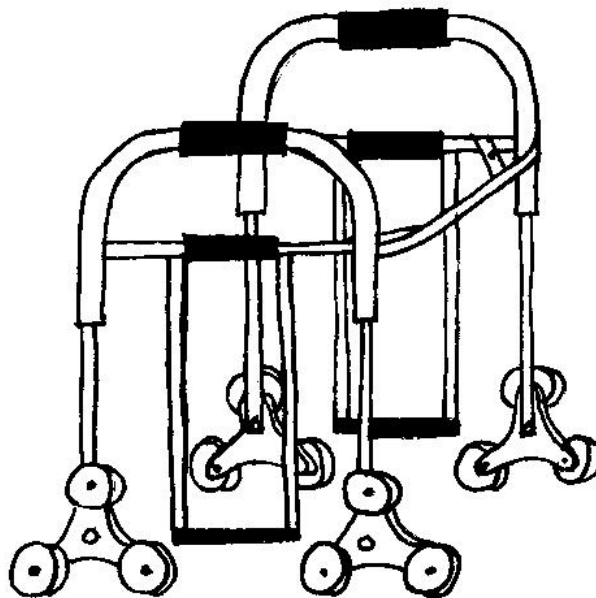


Fig.5.1 Configuración inicial.

Se continúa trabajando con aluminio para el cuerpo de la andadera, así como las patas y el sistema de plegado de la misma debido a que es un material de fácil obtención y con un peso bajo, en comparación con otros materiales comerciales, además de que es fácil de maquinar.

A partir de ésta idea, se realizaron modificaciones basadas en la funcionalidad de la andadera y buscando una estética más limpia, con lo cual se obtenga una andadera más ergonómica, funcional y presentable. Las modificaciones realizadas al modelo se

detallan en el sub-capítulo anterior, con lo cual resulta una andadera como se muestra a continuación:

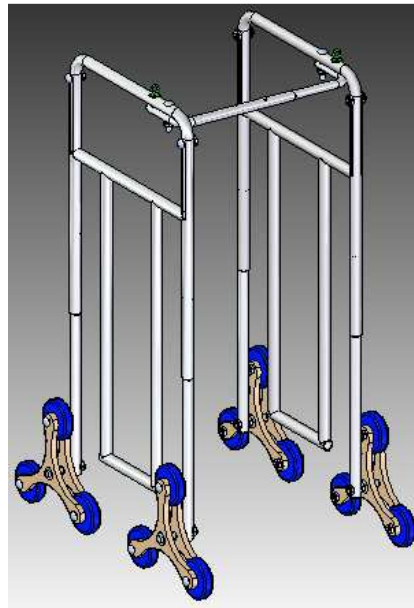


Fig.5.2 Configuración final.

El modelo final de éste re-diseño consta de las siguientes partes principales:

- Armazones laterales.

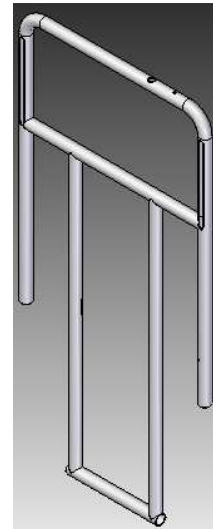


Fig.5.3 Armazón derecho de la andadera. Fig.5.4 Armazón izquierdo de la andadera.

Es la parte de la andadera que soporta el peso de la persona y la única parte que está en contacto con la persona; contiene la ranura corrediza explicada, la cual facilita el descenso de la andadera por las escaleras; consiste en un tubo de aluminio de 1 pulgada de diámetro, teniendo partes soldadas en la estructura y partes dobladas a un radio de 5 cm. Los armazones izquierdo y derecho varían únicamente en su diseño por la posición que ocupa el seguro del sistema de plegado, ya que en el armazón derecho el seguro se encuentra detrás del tornillo que une el armazón con el sistema de plegado y en el armazón izquierdo se invierten sus posiciones.

El cuerpo de la andadera tiene los dos armazones unidos por el sistema de plegado, con lo cual queda un modelo como el que a continuación se presenta:

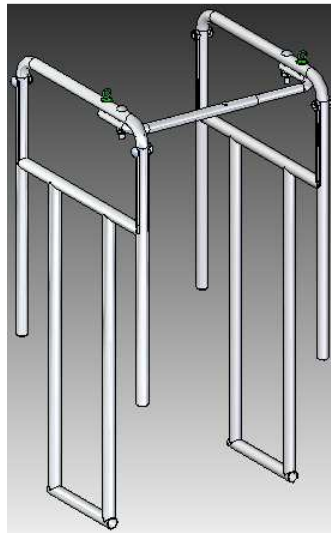


Fig.5.5 Cuerpo de la andadera.

➤ Sistema de plegado.

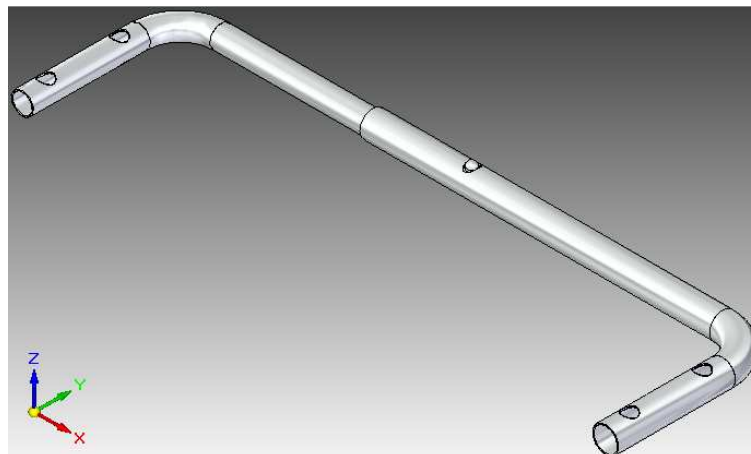


Fig.5.6 Sistema de plegado de la andadera.

El sistema de plegado, el cual fue explicado, consta de dos tubos de aluminio doblados a un radio de 3.5 cm hasta formar un ángulo de 90° . El sistema de plegado cumple varias funciones dentro del diseño, de los cuales está: a) Establecer la distancia entre cada uno de los armazones laterales y, por lo tanto, el ancho total de la andadera; b) Mantener firme el cuerpo de la andadera, ya sea con la andadera abierta o plegada y; c) Regular la abertura de los armazones laterales para mantener el mismo ancho en la andadera.

Todo lo anterior se logra gracias al sistema de botón que tiene integrado el sistema de plegado, la posición que ocupa en la andadera, así como las dimensiones de la misma. Gracias al sistema de botón y a la posición que ocupa el sistema de plegado en la andadera se regula la abertura de los armazones al no permitir el sistema de botón que las barras unidas a los armazones se sigan alargando, además la posición del sistema de plegado hace que cuando los armazones se detengan con el sistema de botón los armazones estén en contacto con el sistema de plegado impidiendo que puedan

abrirse más. Para mantener firme la andadera la parte de las barras que está en contacto con el armazón tiene el largo suficiente como para soportar el peso de la andadera y evitando que la andadera se pueda ladear.

Sumado a lo anterior, se tienen unos seguros o pernos los cuales mantienen en una y sólo una posición las caras de la andadera, con lo cual se asegura que las caras no puede abrirse sino hasta esa posición o cerrarse una vez estando abiertas.



Fig.5.7 Barra I Sistema de plegado.

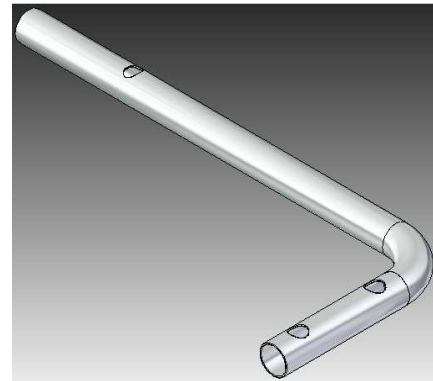


Fig.5.8 Barra II Sistema de plegado.

- Seguro del sistema de plegado.

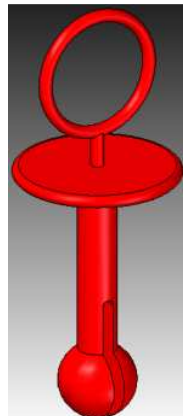


Fig.5.9 Seguro de plegado de la andadera.

Tiene la función de mantener en una y sólo una posición a los armazones, respecto al sistema de plegado, además de garantizar que los armazones no se pueden abrir o cerrar una vez colocado éste seguro. Esta pieza está en contacto con el armazón y con una de las barras del sistema de plegado, por lo que con respecto a estas piezas se requiere un ajuste mecánico basado en eje único según normas ISO de h6 J7 (ajuste forzado ligero).

El material con el que se realiza ésta pieza es plástico ABS y para su manufactura se propone realizarse a través de inyección en molde permanente. Para cuestiones de manufactura de prototipo se recomienda el uso de máquina de prototipado rápido, conforme al archivo generado en Solid Edge.

Aunque no se logra visualizar en el diseño, ésta pieza se forma de la unión de dos partes, las cuales se pueden unir mediante la aplicación de calor a las mismas una vez puestas en la andadera, gracias a que el material utilizado es termoplástico; o mediante la aplicación de algún pegamento o resina que mantenga las dos partes unidas.

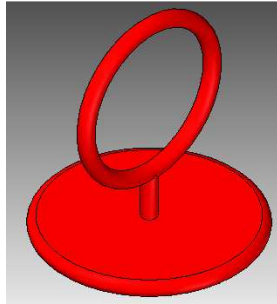


Fig.5.10 Parte 1 seguro de plegado

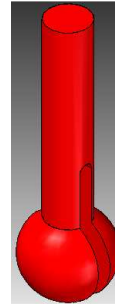


Fig.5.11 Parte 2 seguro de plegado

Con el fin de comprobar la funcionalidad del seguro en la andadera se realiza el cálculo del esfuerzo al cual estará sometido el seguro, ya sea en uso normal o en algún caso atípico.

En condiciones normales de uso el seguro de plegado estar sometido a un esfuerzo cortante generado por la fuerza que una persona mayor ejerce con sus brazos al utilizar la andadera, ésta fuerza se puede tomar como de $F = 3 \text{ kg}_f$. Bajo condiciones atípicas de uso, el seguro puede estar sometido a un esfuerzo cortante debido al peso de una persona mayor recargada en la andadera, lo cual resulta aproximadamente un tercio del peso de una persona, con lo cual $F = 70/3 = 23.33 \text{ kg}_f$. Utilizando la fórmula de esfuerzo cortante.

$$\tau = \frac{F}{A} \dots (q)$$

donde A es el área donde actúa la fuerza

$$\tau = \frac{F}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2} \dots (q')$$

Sustituyendo los valores de la fuerza tanto para el caso normal como el atípico en (q') y, conociendo el valor del diámetro del cilindro $D = 0.635 \text{ cm}$ (1/4 de pulgada), se obtiene: $\tau_{\text{normal}} = 9.473 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$ o bien 928.984 kPa , y $\tau_{\text{atípico}} = 73.678 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$ o bien 7.225 MPa .

Utilizando el Criterio de Tresca, el cual dice que un componente estructural es seguro siempre y cuando el valor máximo del esfuerzo cortante esté por debajo del valor correspondiente al esfuerzo cortante generado en una prueba de tensión a una probeta del mismo material antes de que ésta llegue al punto de fluencia. Dado que uno de los datos obtenidos mediante Solid Edge es el esfuerzo de cedencia del plástico ABS de mediano impacto, el cual es 43.437 MPa , el esfuerzo cortante máximo en una prueba de tensión es la mitad del esfuerzo de cedencia. Comparando los esfuerzos cortantes calculados contra el esfuerzo cortante máximo, el cual resulta 21.7185 MPa , se concluye que el seguro soporta el esfuerzo al cual está sometido sin deformarse o romperse.

La posición que ocuparían los seguros en el cuerpo de la andadera es como se muestra a continuación:



Fig.5.12 Posiciones de los seguros de plegado.

➤ Barra móvil.



Fig.5.13 Barra móvil de la andadera.

Es la parte de las patas que se desliza por dentro de las patas del cuerpo de la andadera y la que contiene en su interior al resorte para aumentar o disminuir la altura de las patas y con ello asistir en el ascenso o descenso por las escaleras. Consiste en una barra de aluminio de 7/8 de pulgada al cual se le hace un barreno de 1/2 pulgada para introducir un eje el cual soporta el sistema TRISTAR, el largo es el necesario para que el resorte no sea visible cuando la andadera se encuentre subiendo o bajando escaleras.

➤ Ruedas.

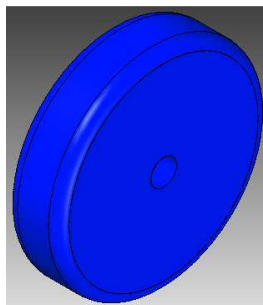


Fig.5.14 Rueda de la andadera.

Se utilizan ruedas comerciales de 4 pulgadas para que éstas sean lo suficientemente grandes como para que el sistema TRISTAR pueda subir y bajar un escalón y, al

mismo tiempo, no sean tan grandes como para aumentar el peso de la andadera y resulte incómodo para el usuario.

➤ Triángulo TRISTAR.

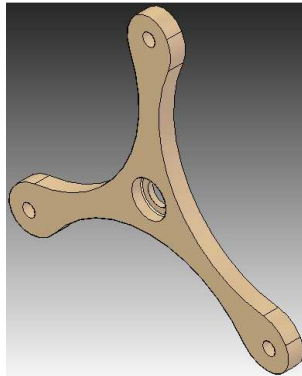


Fig.5.15 Triángulo TRISTAR de la andadera.

Éste modelo de TRISTAR cuenta con un barreno de 2.23 cm al centro, tres barrenos de 1/2 pulgada en cada brazo del TRISTAR y un barreno ciego al centro del tamaño del diámetro externo de un rodamiento rígido de bolas de 13 mm SKF, el cual debe insertarse dentro del TRISTAR con un ajuste mecánico basado en eje único según normas ISO de h6 K7 (ajuste forzado medio). La intención del barreno ciego en el triángulo TRISTAR es asegurar el ajuste del rodamiento con el TRISTAR y que éste sólo pueda salirse por un lado.

El sistema TRISTAR consta de un sándwich formado por tres ruedas y dos triángulos TRISTAR en espejo (los barrenos ciegos de los triángulos TRISTAR viendo en sentidos opuestos) con lo cual se asegura que los rodamientos no podrán salirse de los triángulos TRISTAR al contrarrestarse uno con otro, además de darle al sistema TRISTAR una mayor estabilidad. Se recomienda para el armado del TRISTAR se incluya un pedazo de tubo aluminio de 1 pulgada, de largo igual al ancho de las ruedas y se coloque al centro de los dos triángulos TRISTAR, con la finalidad de mantener la misma distancia entre los dos triángulos TRISTAR en cualquier punto de los mismos.

El triángulo TRISTAR se propone que se manufacture mediante control numérico a partir del archivo generado en Solid Edge en una placa de Nylamid M de 1.5 cm de espesor para reducir peso y mantener la resistencia.

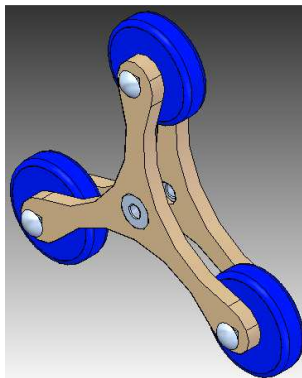


Fig.5.16 Sistema TRISTAR de la andadera.

➤ Eje de rodamientos.

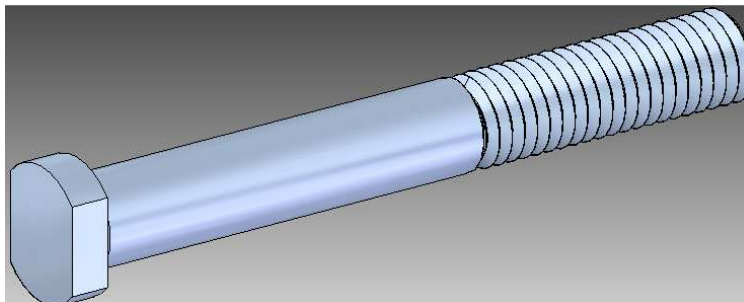


Fig.5.17 Eje de rodamiento de la andadera.

Es la encargada de unir el sistema TRISTAR con la barra móvil y, a su vez, con la andadera. Sin embargo, el diseño de éste eje requiere ser más específico ya que consta de 3 secciones con dimensiones variadas para cumplir con su función.

La primer parte es la cabeza del eje, esta parte debe estar en contacto con un rodamiento por lo que debe ser lo suficientemente grande para evitar que el rodamiento se salga por la cabeza y no tan grande como para únicamente tocar la parte interna del rodamiento, de lo contrario la cabeza del eje impediría el giro del rodamiento. Con base en esto se tiene que diseñar la cabeza del eje con un diámetro de 1.905 cm (3/4 de pulgada) con un espesor de 0.55 cm, con unos cortes de tal manera que se pueda utilizar una llave española de 1.4287 cm (9/16 de pulgada) para un correcto apriete de los tornillos en van en la rosca del eje, y un radio en la unión entre la cabeza y el cuerpo del eje de 1 mm para evitar concentración de esfuerzos y se dé un ajuste completo con el rodamiento.

La segunda parte es el cuerpo, el cual está en contacto con los rodamientos, por lo cual resulta necesario aclarar que el ajuste que tienen los rodamientos con el eje es un ajuste mecánico de agujero único según normas ISO H7 k6 (ajuste forzado medio), tomando como diámetro del agujero base el diámetro interno de un rodamiento comercial de 1/2 pulgada. El largo de ésta sección es desde la cabeza del eje hasta la determinada por la posición que lleve la barra móvil para no chocar con el sistema TRISTAR restando la distancia que ocupen las tuercas que sujetarán a la barra móvil.

La tercera parte es la rosca, ésta sección comienza después del cuerpo y tiene un largo un poco mayor al equivalente a dos tuercas de seguridad y el diámetro exterior de la barra móvil, con la intención de hacer un sándwich con dos tuercas y la barra móvil. La rosca es estándar para tornillo de 1/2 pulgada (13 hilos por pulgada).

Juntando las ruedas, los triángulos TRISTAR y los rodamientos para formar el sistema TRISTAR, junto con la barra móvil y el eje de rodamiento forman las patas de la andadera, los cuales quedan armados en la siguiente configuración:

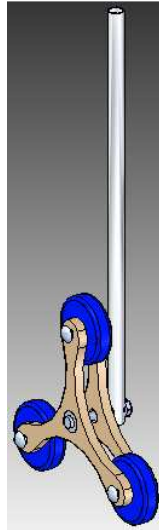


Fig.5.18 Pata ensamblada de la andadera.

El modelo final tiene, entonces, las siguientes configuraciones cuando se encuentra en uso o abierta, y cuando se encuentra plegada.

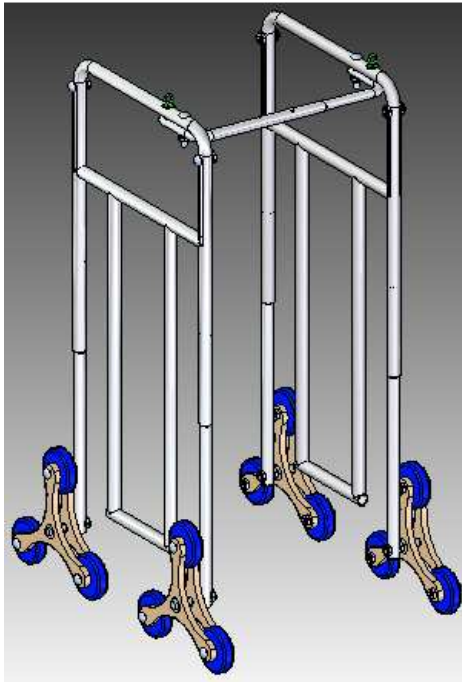


Fig.5.19 Andadera abierta.

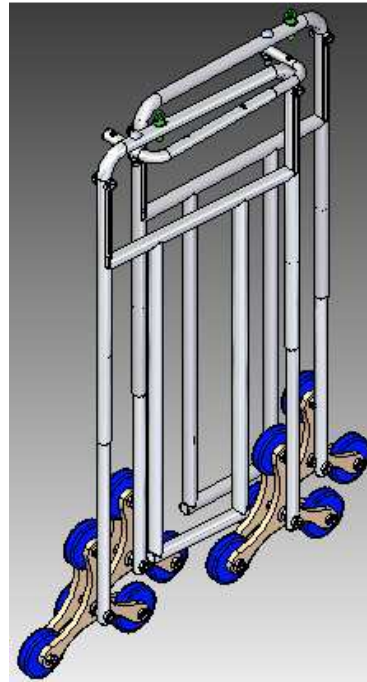


Fig.5.20 Andadera plegada.

Una vez descritas las partes que componen el re-diseño de la andadera, resulta indispensable realizar una comparativa parte por parte entre el modelo original de andadera y el re-diseño antes descrito; con la finalidad de explicar las mejoras que éste re-diseño tiene con respecto a su diseño original.

Tabla 5.1 Comparación entre el diseño original y el re-diseño.

	 Diseño original de andadera	 Re-diseño de andadera
Cuerpo de la andadera	<p>En éste diseño el cuerpo de la andadera es una estructura cuadrada rígida en forma de C soldada de tubo de aluminio de 1 pulgada con un doble manubrio. El cuerpo de la andadera tiene la función de soportar y dar apoyo a una persona ya sea en terreno plano, o en el ascenso o descenso de escaleras.</p>	<p>En éste re-diseño el cuerpo de la andadera tiene la misma función que en el diseño original pero se divide en tres partes: cara lateral izquierda, cara lateral derecha y sistema de plegado. Estas tres partes permiten que la andadera pueda reducir su tamaño, o plegarse, para su transportación, además de que la estructura es tan rígida como en el diseño original al ser construida de tubo de aluminio de 1 pulgada. Sumado a eso, el diseño cuenta con una canaleta en cada pata el cual permite que las patas de la andadera mantengan siempre el contacto con el piso aun cuando se está descendiendo por escaleras, se eliminaron los bordes o filos y se realizó una estética más limpia del mismo.</p>
Barra móvil	<p>En éste diseño la barra móvil tiene la función de aumentar o disminuir la altura de las patas, así como unir el sistema TRISTAR a la andadera mediante un eje que se sujeta a un barreno en la parte inferior del mismo. Esta hecho de tubo de aluminio de 5/8 de pulgada y se encuentra en la parte interna del resorte de las patas.</p>	<p>En éste re-diseño la barra móvil cumple con la misma función que en el diseño original, con la diferencia de que las dimensiones del tubo utilizado son más grandes que en el modelo original. Esta hecho de tubo de aluminio de 7/8 de pulgada y tiene el largo suficiente como para mantener una pequeña parte dentro del tubo de las patas del cuerpo de la andadera, para evitar que cuando la pata se alargue al bajar escaleras, ésta se pueda doblar por dejar de tener apoyo en el cuerpo de la andadera, además de que permite a las patas reducir su altura al igual que el diseño original. Su posición en la andadera es intercambiada por la del resorte en el diseño original, con el fin de lograr una estética más limpia de la andadera y evitar posibles accidentes entre el usuario y el resorte.</p>
Resorte	<p>En éste diseño el resorte cumple la función de mantener las patas de la andadera en contacto con el piso, permitir la reducción de altura de las patas cuando una persona se recargue en la andadera y alargar la altura de las patas cuando la andadera descende escaleras. El resorte se recargaba en el</p>	<p>En éste re-diseño el resorte cumple la misma función que en el diseño original con la diferencia de que los extremos no son amolados, sino con un lazo redondo completo el cual se sujetará de un perno que se colocara en la ranura corrediza que se encuentra en el cuerpo de la andadera y el eje que une la barra móvil con el sistema TRISTAR. En el diseño original el resorte estaba diseñado para cuando una persona se recarga completamente en la andadera, lo cual resulta poco ergonómico ya que una persona aplica la fuerza únicamente</p>

	eje que soporta al sistema TRISTAR y en la parte interna de los tubos del cuerpo de la andadera.	con sus brazos, por lo que en esta andadera el resorte se diseño para una carga aplicada por los brazos de una persona mayor. Por último se tiene la mejora de garantizar el contacto de las patas de la andadera con el piso en todo momento gracias a la ranura corrediza que permite a las patas acoplarse mejor a las escaleras en descenso al no ser el resorte el que se tenga que alargar, sino que actué el perno en la ranura corrediza.
Triangulo TRISTAR	En éste diseño el triángulo TRISTAR se realiza en Nylamid con espesor de 1 cm para mantener la resistencia del material y reducir el peso, con barrenos de 1/2 pulgada al centro y en los extremos. El sistema TRISTAR consta de dos triángulos TRISTAR y 3 ruedas comerciales de 4 pulgadas.	En éste re-diseño el triángulo TRISTAR se realiza en Nylamid con espesor de 1.5 cm con el mismo propósito que en el diseño original. Consta de 3 barrenos de 1/2 pulgada en los extremos y el barreno central consta de uno ciego y uno pasado de diferentes tamaños en el cual se insertará un rodamiento comercial de media pulgada en ajuste forzado medio, con la finalidad de que garantizar que los triángulos giren con respecto a un eje. El sistema TRISTAR consta de tres ruedas comerciales de 4 pulgadas y dos triángulos TRISTAR con el barreno ciego en diferentes sentidos de tal manera que los rodamientos no se puedan salir del triángulo TRISTAR y un pedazo de tubo de 1 pulgada de aluminio al centro para garantizar la misma distancia entre los dos triángulos TRISTAR en cualquier punto de los mismos.

5.3 Medidas del modelo final

Tomando como referencia las medidas del diseño original de andadera y las medidas de las andaderas comerciales se dio una idea de las medidas de ésta andadera. Sin embargo, como se vio anteriormente, la andadera tuvo varias modificaciones, con lo cual el diseño quedaría con las siguientes dimensiones con una tolerancia no especificada de ± 0.1 mm:

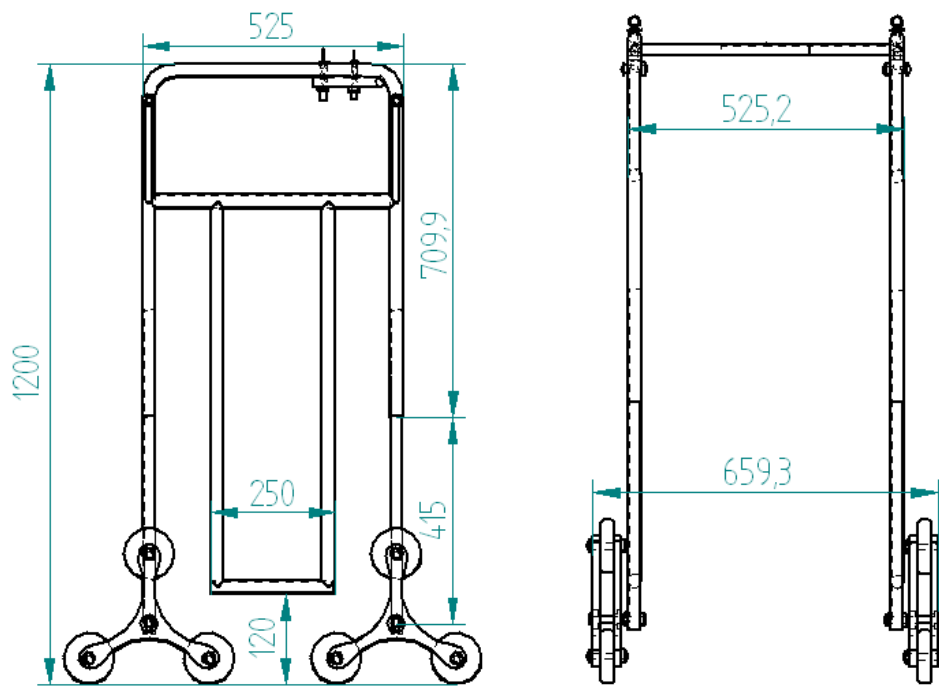


Fig.5.21 Vistas lateral y frontal con acotaciones en milímetros.

Aún falta definir las medidas de las partes de la andadera, para lo cual se realizarán las acotaciones correspondientes a cada pieza con una tolerancia no especificada de ± 0.1 mm, de tal manera que se pueda realizar la manufactura de los mismos.

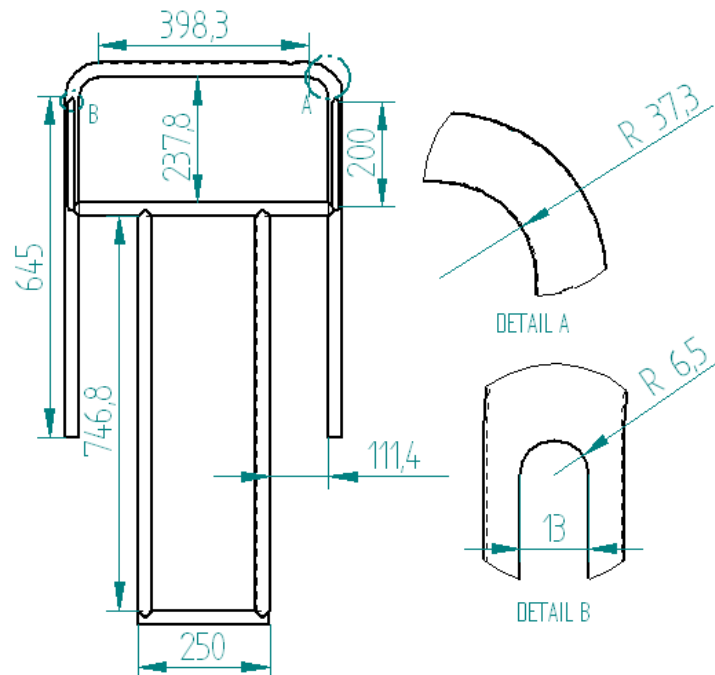


Fig.5.22 Vista frontal cara lateral derecha con acotaciones en milímetros.

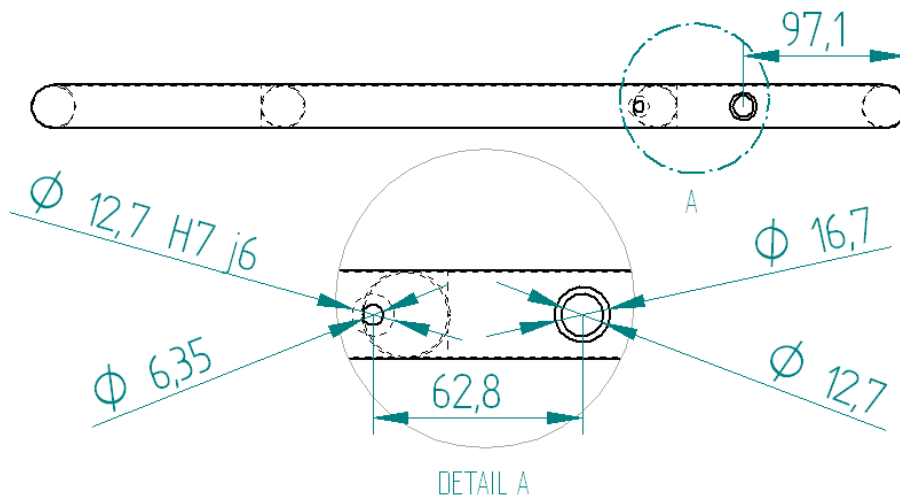


Fig.5.23 Vista superior caras lateral derecha con acotaciones en milímetros.

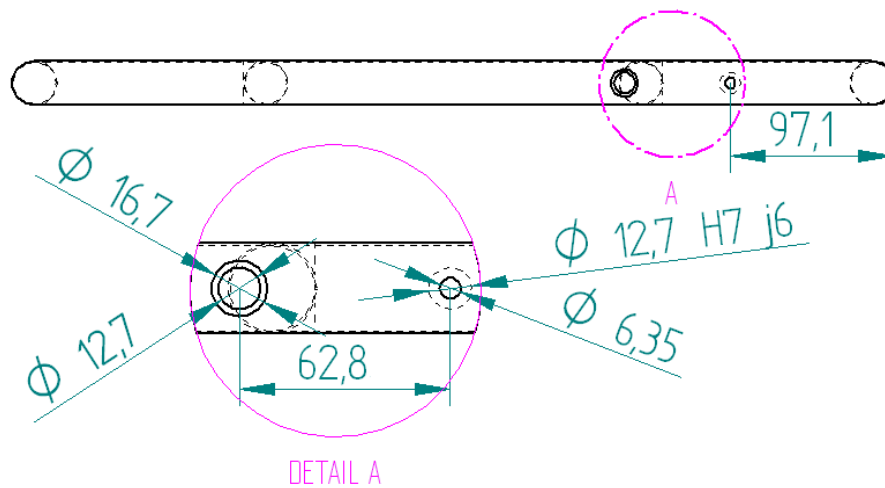


Fig.5.24 Vista superior caras lateral izquierda con acotaciones en milímetros.

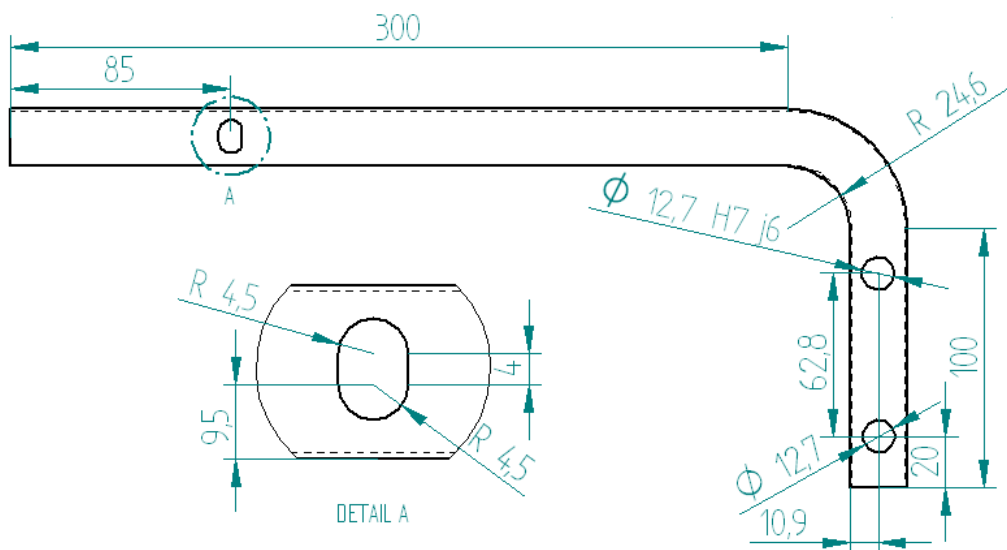


Fig.5.25 Vista superior barra I sistema de plegado con acotaciones en milímetros.

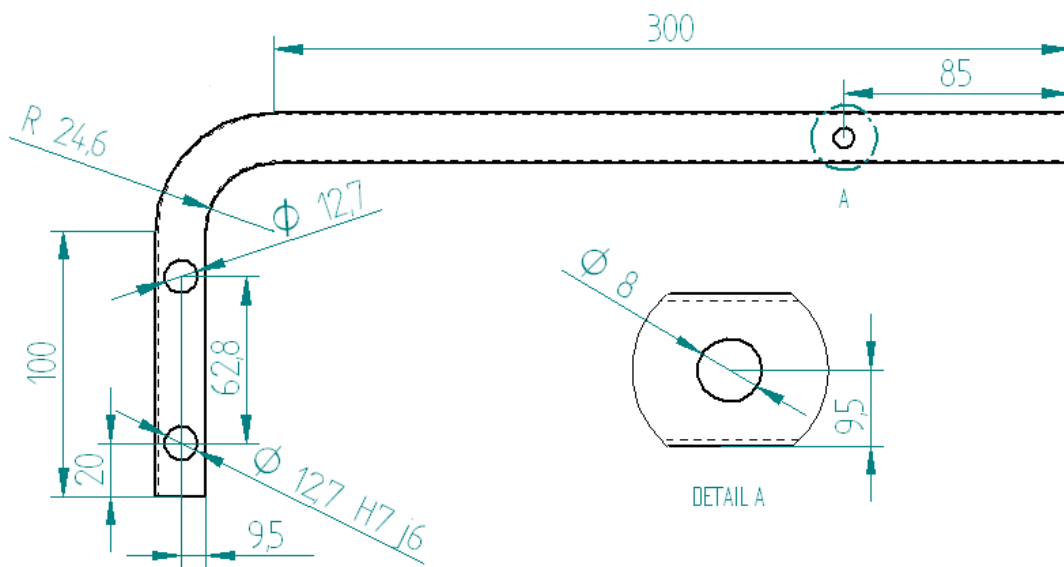


Fig.5.26 Vista superior barra II sistema de plegado con acotaciones en milímetros.

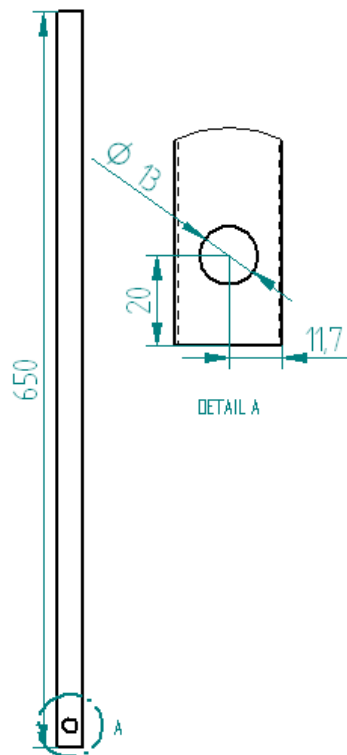


Fig.5.27 Vista frontal barra móvil con acotaciones en milímetros.

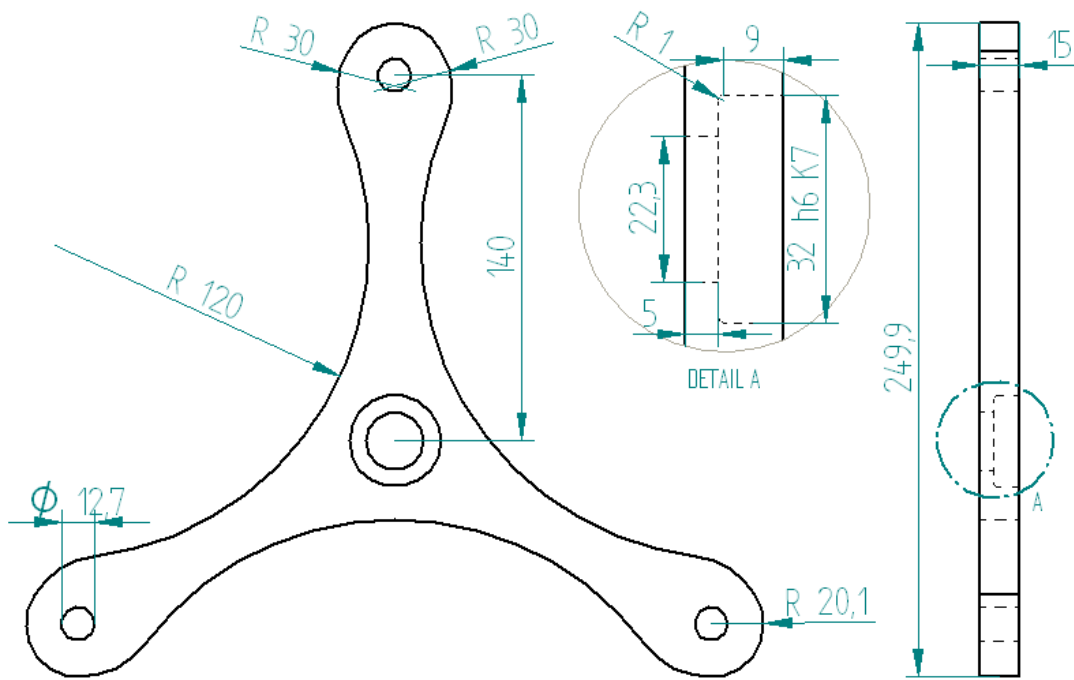


Fig.5.28 Vistas frontal y lateral triángulo TRISTAR con acotaciones en milímetros.

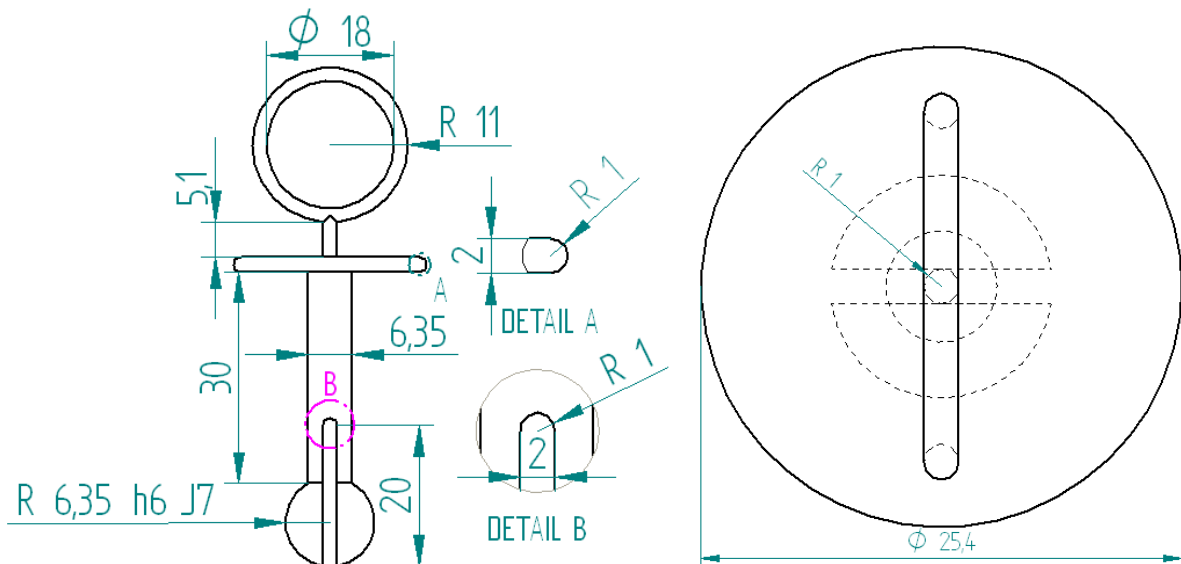


Fig.5.29 Vistas frontal y superior seguro de plegado con acotaciones en milímetros.

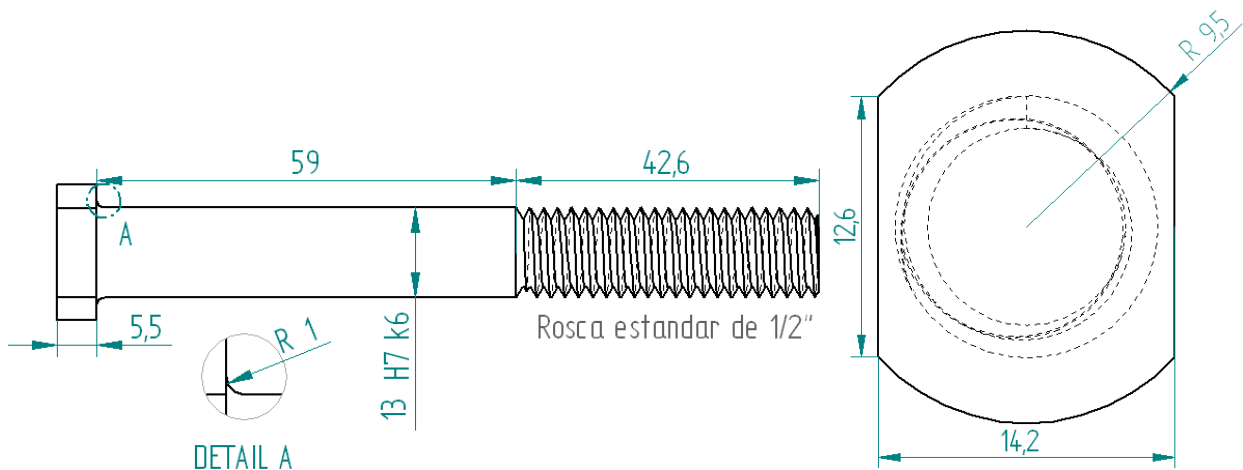


Fig.5.30 Vista lateral y frontal del eje de rodamientos con acotaciones en milímetros.

5.4 Costos de materiales

Para conocer el valor aproximado de la andadera se realizó una cotización de los materiales que componen la andadera.

Las cotizaciones se hicieron en **Cobralum S.A. De C.V.** para tubos de aluminio de 2.54 cm (1 pulgada), 2.2225 cm (7/8 de pulgada) y 1.905 (3/4 de pulgada); en **Industrias Gryl** para ruedas para supermercado de 10.16 cm (4 pulgadas); en **Materiales Levison** para placa de Nylamid M de 1.5875 cm (5/8 de pulgada) de espesor y 60.96 x 60.96 cm (24 x 24 pulgadas); en **Materiales Díaz** para barra de acero de 1.905 cm (3/4 de pulgada); en **SKF** para rodamiento rígido de bolas para carga radial de 13 mm; en **Resortes de Fabricación Especial S.A. de C.V.** para el resorte calculado; en casas de tornillos los tornillos de cabeza de carro de 1.27 cm (1/2 pulgada) con 2.098 cm (2 1/4 de pulgada) y 1.197 cm (1 1/2 de pulgada) y tuercas de seguridad de 1.27 cm (1/2 pulgada), todos de rosca estándar; y en el **Centro de Diseño y Manufactura** los seguros de plegado en ABS.

Con todo esto, el costo de la andadera es:

Tabla 5.2 Costos de materiales y total del modelo final.

MATERIAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Tubo de aluminio 1"	3 tramos de 3.66 m, con un corte en un tramo de 25 cm	\$ 81.0 por tramo y \$ 7 por corte	\$ 250.0
Tubo de aluminio 7/8"	1 tramo de 3.66 m, con un corte de 3.1 m	\$ 72.9 por tramo y \$ 7 por corte	\$ 79.9
Tubo de aluminio 3/4"	1 tramo de 3.66, con corte de 0.5 m	\$ 64.8 por tramo y \$ 7 por corte	\$ 71.8
TRISTAR en Nylamid M	2 placa de 5/8" de espesor y 24x24 in.	\$ 1716.39	\$ 3,432.78
Barra de acero 3/4"	1 tramo de 1 m	\$ 110.0	\$ 110.0
Rodamiento	8 rodamientos rígidos de bolas	\$ 60.0	\$ 480.0
Resorte	4 resortes según lo calculado	\$ 350.0	\$ 1,400.0
Seguro de plegado	2 seguros en plástico ABS de prototipos rápidos	\$ 134.0	\$ 268.0
Tornillo 2 1/4" largo	14 tornillos cabeza de carro de 1/2" y 2 1/4" largo	\$ 4.3	\$ 60.2
Tornillo 1 1/2" largo	4 tornillos cabeza de carro de 1/2" y 1 1/2" largo	\$ 4.0	\$ 16.0
Tuerca de seguridad	26 tuercas de seguridad para tornillo de 1/2"	\$ 3.4	\$ 88.4
		TOTAL	\$ 6,257.08

CAPÍTULO 6

DISCUSIONES FINALES

6.1 Conclusiones

En éste trabajo se realizó el re-diseño de una andadera que tiene la función de subir y bajar escaleras con el objetivo de lograr un nuevo diseño el cual mantenga la función principal de subir y bajar escaleras y logrando que se pueda plegar para su fácil transportación, asimismo que tenga un menor peso. Respecto a esto podemos afirmar que se cumplió parcialmente con el objetivo debido a que:

Se logró hacer un diseño de andadera el cual mantiene el principio fundamental de asistir en el ascenso y descenso de escaleras, además de todas las funciones adicionales con las que cuenta el diseño original pero con la versatilidad de poderse acoplar mejor a los escalones al descenderlos y a las irregularidades del terreno gracias a la ranura corrediza del diseño.

La forma de plegar la andadera no es convencional. El sistema de plegado integrado en el diseño logra ser muy eficiente al permitir a la andadera reducir su volumen con una acción similar al de las andaderas comerciales (las caras laterales de la andadera se pliegan hacia el frente), a pesar de que se tiene el problema del tamaño considerable del sistema TRISTAR en cada una de las patas de la andadera.

Para poder cumplir con lo antes mencionado se tuvieron que cumplir varias metas durante su desarrollo, las cuales fueron: Primero analizar las patentes existentes de mecanismos de plegado de andaderas, con el propósito de crear un sistema de plegado ideal para el re-diseño. Posteriormente se realizó una encuesta para definir los requerimientos de los usuarios de andaderas y cómo verían nuestro nuevo diseño frente a otras andaderas y traducirlo en especificaciones. Por último se analizó el problema con base en la metodología TRIZ y, con ayuda de éste, se obtuvieron varios re-diseños a nivel conceptual, para finalmente seleccionar el que mejor cumpliera con las especificaciones de los usuarios.

La andadera diseñada tiene un peso alrededor de 8 kg., según estimaciones del programa Solid Edge, el cual excede el peso de la andadera original. Sin embargo, a pesar de eso, el diseño se encuentra dentro del rango de peso definido en las especificaciones de este tipo de estructuras que van de 650 gr. a 9 kg., además de que la andadera está diseñada para utilizarse únicamente siendo empujada, por lo que el peso de la misma se vuelve un factor secundario al momento de utilizarla.

Respecto al costo de la andadera, tomando en cuenta que en el mercado actual existen andaderas cuyo precio puede llegar hasta \$20,000, en éste trabajo los materiales del prototipo ascienden a \$6,257.08. Cabe mencionar que no se toman en cuenta costos de ingeniería y manufactura.

En cuanto a las dimensiones de éste re-diseño, se lograron acercar bastante a las dimensiones de una andadera convencional.

Tabla 6.1 Comparación de medidas del diseño y una andadera convencional.

	Andadera convencional	Andadera diseñada
Ancho	55 – 80 cm	65.93 cm
Profundidad	30 – 70 cm	52.5 cm
Altura	70 – 100 cm	120 cm

6.2 Oportunidades de mejora

Aunque éste trabajo fue el re-diseño de una andadera que se encontraba en su primer etapa de diseño y que en el desarrollo del re-diseño se vieron las deficiencias y se intentaron solucionar, ésta nueva andadera cuenta con algunas limitantes que por falta de tiempo o por las especificaciones del propio diseño no se pueden cumplir en su totalidad.

Estas limitaciones de diseño se pueden ver como posibles mejoras de la andadera para un siguiente re-diseño. En cuanto a las posibles mejoras, tenemos que el sistema TRISTAR no cuenta con algún sistema de frenado en las ruedas, con lo cual existe la pequeña posibilidad de que mientras no entre en acción la barra de frenado la andadera se pueda deslizar.

Otra posible campo de oportunidad sería el mejorar el sistema de plegado de tal forma que se pudiera realizar en menos pasos que con el sistema actual. A si mismo se puede ver la posibilidad de desmontar alguna parte de la andadera como el sistema TRISTAR mediante algún seguro, para con ello reducir aún más su tamaño, aunque esto implique más pasos de para plegarla. Todo esto sin perder de vista de facilitar el plegado.

Por otra parte existe la opción de cambiar los materiales que componen la andadera, si que éstos no tienen una función fundamental o no están sometidos a un gran esfuerzo. Se podrían cambiar éstos componentes que en éste diseño son metálicos por algún otro material plástico o compuesto que más ligero y que soporte las cargas a las cuales estará sometido.

En el capítulo 4 se propusieron 3 posibles re-diseños, de los cuales quedaron 2 únicamente explicados. Se tiene la oportunidad de analizar más detalladamente algunos de los dos re-diseños propuestos buscando que cumplan mejor con los requerimientos de los usuarios y se explote mejor su potencial.

Por último se recomienda ampliamente realizar un prototipo de la andadera en físico para observar posibles complicaciones en su manufactura, así como detalles que fueran omitidos durante el desarrollo del diseño y realizar pruebas operativas para lograr una retroalimentación y buscar nuevos aspectos por mejorar.

6.3 Reflexiones personales

Durante la realización de éste trabajo pude darme cuenta de varios aspectos en el desarrollo de un diseño y que son importantes, no solo para la realización de un trabajo de tesis, sino para cualquier trabajo en la vida diaria. Pude darme cuenta que toda gran obra comienza con el primer paso y que los planes para realizarlo tienen que ser flexibles para cualquier tipo de imprevisto o errores que se puedan generar durante su desarrollo.

Me agradó muchísimo poder aplicar algunos de los conocimientos adquiridos durante mi formación como ingeniero mecánico en la realización de éste trabajo con el fin de aportar un granito de arena en el desarrollo de nuevas andaderas que hagan la vida de las personas mayores o en rehabilitación más autónoma.

Para terminar diré: Mientras la tecnología lo permita, no existirá un solo objeto al cual no se le pueda realizar una mejora.

REFERENCIAS

Bibliografía:

FAIRES, Virgil Moring. *Diseño de elementos de máquinas*, 4ª ed., Ed. Montaner y Simón S.A., Barcelona, 1977, 802pp.

BEER, P. Ferdinan, JOHNSTON, E. Russel Jr.; Traducción CÁRDENAS LEÓN, Javier. *Mecánica de materiales*, 3ª ed., Ed. McGraw-Hills, México, 2004, 791pp.

SHIGLEY, Joseph Edward. *Manual de diseño mecánico Tomo III*, 4ª ed., Ed. ,

INGALLS ROMÁN, Fernando. *Diseño conceptual de una andadera para subir y bajar escaleras*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 2011, 101pp.

Webliografía y Artículos:

ingenieria.peru-v.com/documentos/De_la_innovacion_con_TRIZ.pdf, Agosto 2011

es.wikipedia.org/wiki/TRIZ, Agosto 2011

<http://blog.pucp.edu.pe/media/avatar/387.pdf>, Agosto 2011.

<http://blog.pucp.edu.pe/media/70/20100601-LA%20EVOLUCION%20DE%20LOS%20SISTEMAS%20TECNOLOGICOS%20COMO%20HERRAMIENTA%20PARA%20ORIENTAR%20LA%20INVESTIGACION.pdf>, Agosto 2011.

<http://www.innovacion-sistematica.net/is/>, Octubre 2011.

<http://www.innovacion-sistematica.net/is/leccion2-nivelesdeinnovacion>, Octubre 2011.

<http://www.trizchile.com/creachile/matriz-triz40.html>, Enero 2012.

http://www.skf.com/portal/skf/home/products?maincatalogue=1&lang=es&newlink=1_1_0, Octubre 2012.

<http://es.scribd.com/doc/16709236/Tolerancias-y-Grados-de-Ajuste>, Octubre 2012.

<http://es.scribd.com/doc/51132217/Catalogo-de-Tuercas-y-Tornillos>, Octubre 2012.

<http://cobralum.com.mx/tubo-a.htm>, Octubre 2012.

<http://ing.ugalca.cl/~fepinos/Ajustes%20y%20tolerancias%20mecanicas.pdf>, Octubre 2012

Patentes americanas de andaderas plegables:

Número de patente	Fecha	Autor
3,658,079	25 / Abril / 1972	George P. Block
3,783,886	8 / Enero / 1974	Morton I. Thomas
3,993,088	23 / Noviembre / 1973	Morton I. Thomas
US2007/0267835 A1	22 / Noviembre / 2007	Pao Shan Huang
US2010/0083994 A1	8 / Abril / 2010	Julian Liu

ANEXOS

TABLA AT 15 DIMENSIONES NOMINALES DE VARIAS GALGAS

La galga Washburn y Moen (W&M), llamada también galga para alambre de acero, se utiliza para alambre de acero. La galga American Wire o Brown y Sharpe (B&S) se utiliza para alambres de monel, bronce, cobre, aluminio y latón. Los tamaños normalizados de alambre (o hilo) distintos a los consignados en la tabla incluyen múltiplos de 1/32 hasta 9/16 pulgada. Se tiende a especificar la dimensión decimal del alambre. También hay una galga para alambre de cuerda de piano. Además se fabrican alambres de dimensiones mucho menores que los reseñados en la tabla.

NÚM. DE GALGA	DIÁMETRO DEL ALAMBRE				ESPESOR DE LA CHAPA U.S. Standard	
	W & M		B & S		pulg	mm
	Material ferrosos pulg	mm	Material no ferrosos pulg	mm		
7-0	0,4900	12,45			0,500	12,700
6-0	0,4615	11,72			0,469	11,906
5-0	0,4305	10,93			0,438	11,112
4-0	0,3938	10,00	0,460	11,684	0,406	10,318
3-0	0,3625	9,208	0,401	10,404	0,375	9,525
2-0	0,3310	8,407	0,365	9,265	0,344	8,731
0	0,3065	7,784	0,325	8,252	0,313	7,937
1	0,2830	7,188	0,289	7,348	0,281	7,143
2	0,2625	6,667	0,258	6,548	0,266	6,746
3	0,2437	6,190	0,229	5,827	0,250	6,350
4	0,2253	5,723	0,204	5,189	0,234	5,953
5	0,2070	5,258	0,182	4,621	0,219	5,556
6	0,1920	4,877	0,162	4,115	0,203	5,159
7	0,1770	4,496	0,144	3,665	0,188	4,762
8	0,1620	4,115	0,128	3,264	0,172	4,365
9	0,1483	3,767	0,114	2,906	0,156	3,968
10	0,1350	3,429	0,102	2,588	0,141	3,571
11	0,1205	3,061	0,091	2,305	0,125	3,175
12	0,1055	2,680	0,081	2,053	0,109	2,778
13	0,0915	2,324	0,072	1,828	0,094	2,380
14	0,0800	2,032	0,065	1,651	0,078	1,984
15	0,0720	1,829	0,057	1,450	0,070	1,785
16	0,0625	1,588	0,051	1,291	0,063	1,587
17	0,0540	1,372	0,045	1,150	0,056	1,428
18	0,0475	1,207	0,040	1,024	0,050	1,270

TABLA AT 16 LONGITUDES LIBRES APROXIMADAS Y ALTURAS COMPRIMIDAS A CIERRE

(P = paso de las espiras, N_c = número de espiras *activas*, D_w = diámetro del alambre)

TIPO DE LOS EXTREMOS	LONGITUD LIBRE	NÚMERO TOTAL DE ESPIRAS	ALTURA COMPRIMIDO A CIERRE
Simple o plano	$PN_c + D_w$	N_c	$D_w N_c + D_w$
Plano amolado	PN_c	N_c	$D_w N_c$
Escuadrado.	$PN_c + 3D_w$	$N_c + 2$	$D_w N_c + 3D_w$
Escuadrado y amolado	$PN_c + 2D_w$	$N_c + 2$	$D_w N_c + 2D_w$

FAIRES, Virgil Moring. *Diseño de elementos de máquinas*, 4ª ed., Ed. Montaner y Simón S.A., Barcelona, 1977.

TABLA AT 17 PROPIEDADES MECÁNICAS DE ALAMBRE PARA RESORTES HELICOIDALES

Para resortes de extensión, usar el valor de la columna (5). El esfuerzo es $s = Q/D_w^2$ si aparece esta forma; a utilizar con ecuación (6.1); cálculo para resistencia a la fatiga. Los valores dados se aplican cuando el resorte dinámicos, se deben aumentar los valores de esfuerzo para los aceros en un 25 % preformados, el esfuerzo estático y el «esfuerzo comprimido a cierre» pueden ser más abajo. Los esfuerzos de cálculo deducidos no deben ser interpretados como (análogos a los golpes de martillo). Cuando se da un esfuerzo máximo, se le usa para D_w sólo se aplican a las ecuaciones. Para algunos materiales son Notas: (a) Para servicio ligero, usar s_{sd} de cálculo = $0,405s_u$. Para servicio medio, concuerdan estrechamente con las recomendaciones de Westinghouse, como declaró por ASTM. (c) Concuerdan estrechamente con las recomendaciones Alco; como aconsejable un pequeño coeficiente de seguridad, a menos que concuerde con el para duración indefinida desde 0 hasta el máximo; para 10^7 ciclos con alambre Usar N mínima = 1,15. (e) Usar ambas expresiones para revenido en aceite; para de cuerda de piano. También, Associated Spring recomienda el intervalo de el triángulo ABO, figura 6,9, para $D_w < 0,5258$ cm (o bien $D_w < 0,207$ pulgadas) en los tamaños mayores. (b) De acuerdo con INCO [6.13]. (i) Servicio ligero, los datos de Associated Spring [6.2]. (k) Probablemente es satisfactorio interpolar para $D_w = 0,5$ pulg) y el límite de la fórmula. (l) Multiplicar por 0,8 para servicio (n) Aumentar 10 % si está preformado; 25-35 % para alambres granallados de envejecimiento. (p) INCO da 1400 kg/cm^2 (o bien 20 ksi) para 10^7 ciclos. (q) este Monel tipo K es algo más fuerte que el Monel,

multiplicado por 0,8 para el esfuerzo ocasional máximo. También se incluye el coeficiente de curvatura excepto para el esfuerzo medio en no está preformado ni granallado, excepto cuando se indica. Para cargas vivas o para resortes granallados por chorro de perdigones. Para resortes de acero en 40-50 % mayor que el indicado en las columnas (3) y (5). Véanse notas (f) y (n) valores exactos. Reducir los esfuerzos de cálculo un 50 % para cargas de impacto para tamaños de alambre menores que los límites especificados. Los límites dados concuerdan diámetros de alambre menores o mayores que los límites indicados. Usar $s_{sd} = 0,324s_u$. Para servicio severo, usar $s_{sd} = 0,263s_u$. Estos resultados de Yahl. (b) Ecuaciones para resistencia mínima aproximada a la tracción especificada son más elevados que los esfuerzos recomendados por algunos autores, puede ser el fabricante del resorte. (d) Datos tomados de Hunter Spring Co. [6.15]. Valor de acero (excepto el inoxidable), multiplicar este valor por 1,4, por ejemplo. Alambre estirado en frío, multiplicar por 0,9. (f) Por analogía con el alambre cálculo de seguridad para calidad de resorte de válvula, como queda definido por el triángulo CBO cuando está granallado. (g) Valor conservador usar $s_u = 0,32s_u$; servicio medio, $0,26s_u$; servicio severo, $0,21s_u$. (j) Adaptado de mediante línea recta entre $s_u = 5976 \text{ kg/cm}^2$ para $D_w = 1,27$ cm (o bien $s_u = 85$ ksi medio). (m) Esfuerzos aliviados; disminución del 10 % si está simplemente estirado. Diámetro mayor de 0,1574 cm (o bien 0,062 pulg) [6.13]. (o) Endurecido por Multiplicar por 1,33 para 10^7 ciclos, 0-máx. (r) Los datos de INCO indican que pero se carece de detalles. (s) Calidad resorte de válvula.

MATERIAL	$E \times 10^{-4}$ kg/cm ²	$G \times 10^{-4}$ kg/cm ²	ESFUERZO DE CÁLCULO s_{sd} kg/cm ² Carga ligera
Número columna →	(1)	(2)	(3)
Revenido en aceite ASTM A229	2,038	0,8085	(a)
Estirado en frío ASTM A227	2,038	0,8085	Utilizar las constantes de la nota (a) multiplicadas por 0,85
Alambre cuerda piano ASTM A228	2,109	0,8437	(a)
Acero al carbono VSQ(s); ASTM A230	2,109	0,8085	(a)
Acero Cr-V VSQ(s); ASTM A232	2,109	0,8085	(a)

TRACCIÓN MÍNIMA s_u kg/cm ² (No bobinado)	MÁXIMO ESFUERZO COMPRIMIDO A CIERRE s_c (s_{ys} , aproximado)	RESISTENCIA A LA FATIGA s_{sw} kg/cm ² ($R = 0$)
(4)	(5)	(6)
$\frac{12\ 250}{D_w^{0,19}}$ (b) [0,081 < D_w < 1,270]	$0,6s_u$ (c) [$Q = 7350$; $x = 0,19$]	$\frac{3625}{D_w^{0,19}}$ (d)(e) [0,104 < D_w < 0,381]
$\frac{11\ 750}{D_w^{0,22}}$ (b) [0,071 < D_w < 1,587]	$0,5s_u$ (c) [$Q = 5875$; $x = 0,19$]	$\frac{2895}{D_w^{0,22}}$ (d)(e) [0,381 < D_w < 1,587]
$\frac{15\ 420}{D_w^{0,154}}$ (b) [0,010 < D_w < 0,487]	$0,5s_u$ (c) [$Q = 7710$; $x = 0,154$] [0,07 < D_w < 0,488; 13 350 kg/cm ² máx.]	$\frac{4060}{D_w^{0,154}}$ (d) [0,045 < D_w < 0,457; 6468 kg/cm ² máx.]
$\frac{14\ 040}{D_w^{0,1}}$ (b) [0,236 < D_w < 0,635]	$0,5s_u$ (c) [$Q = 7020$; $x = 0,1$] [0,236 < D_w < 0,635]	$\frac{3962}{D_w^{0,1}}$ (d)(f) [0,236 < D_w < 0,635]
$\frac{13\ 790}{D_w^{0,144}}$ (b) [0,081 < D_w < 1,109]	$0,6s_u$ (c) [$Q = 8270$; $x = 0,166$]	Lo mismo que para A230 (g) [0,071 < D_w < 1,27]

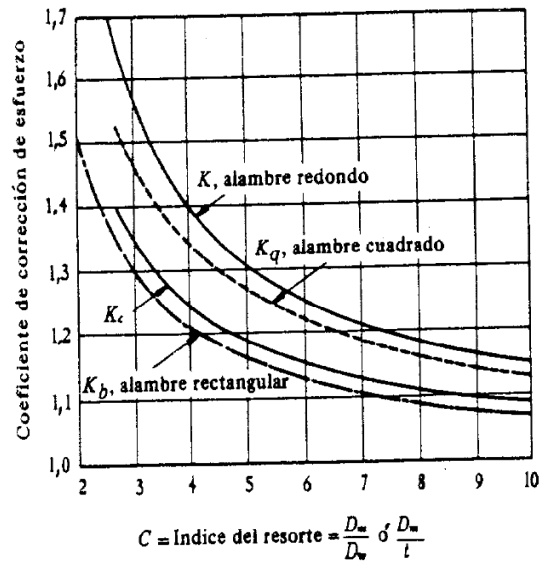


Fig. AF 15 Coeficientes de corrección de esfuerzo (Wahl). Usar D_m/D_w como índice del resorte para resortes de alambre redondo; D_m/t para resortes de alambre de sección rectangular, siendo t la dimensión perpendicular al eje del resorte. Conviene que D_m/D_w no sea menor que 3, preferiblemente mayor que 4. (Según R. E. Peterson.) [4.21]

FAIRES, Virgil Moring. *Diseño de elementos de máquinas*, 4ª ed., Ed. Montaner y Simón S.A., Barcelona, 1977.