

Análisis estructural de andadera para niños con discapacidad motriz

Reynaldo Ledesma, Emanuel Moreno y Miguel Ferrer

R. Ledesma, E. Moreno, M. Ferrer
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, Carretera Valle-Huanímaro km 1.2, Valle de Santiago, Gto, México.
C.P. 38400
rledesma@utsoe.edu.mx

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

Abstract

This paper deals with the structural analysis of the main frame of a walker for children with motor disabilities. Currently the design is already in the validation phase with the built prototype, although high and permanent deformation tests were detected within the linear range of critical components of the structure. As requires precise study to ensure that the prototype is safe for use by children under 12 years of age.

This work aims to implement the Finite Element Method (FEM) using ANSYS software, based on a model previously made fact to determine whether it is feasible for use and implementation.

The principal stresses, displacements and safety factor were determined, checking to fatigue that are within allowable values for configurations and materials used. It is concluded that the proposed modifications the design is safe.

16 Introducción

Se estima que más de 500 millones de personas en el mundo tienen algún impedimento físico, mental o sensorial y alrededor del 80 % de estas personas viven en los países en desarrollo.

Generalmente a las personas con discapacidad se les niega la posibilidad de educación o de desarrollo profesional, se les excluye de la vida cultural y las relaciones sociales normales, se les ingresa innecesariamente en instituciones y tienen acceso restringido a edificios públicos y transporte debido a sus limitaciones físicas.

Por si fuera poco, los discapacitados se encuentran en desventaja jurídica, ya que no cuentan con un documento oficial único que enumere sus derechos, sino que están dispersos en una serie de dictámenes judiciales, recomendaciones de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) e instrumentos jurídicos.

Pero no solamente las personas con discapacidad sufren. La sociedad pierde la oportunidad de aprovechar el enorme potencial de las personas con capacidades diferentes.

Dentro del gran número de discapacidades que se pueden presentar en los seres humanos y que a la fecha han sido clasificados en diferentes grupos y subgrupos, se encuentran las discapacidades motrices: Comprenden a las personas que presentan discapacidades para caminar, manipular objetos y de coordinación de movimientos para realizar actividades de la vida cotidiana. Este grupo lo conforman tres subgrupos: Discapacidades de las extremidades inferiores, tronco, cuello y cabeza, Discapacidades de las extremidades superiores y las insuficientemente especificadas del grupo discapacidades motrices.

Las discapacidades de las extremidades inferiores, tronco, cuello y cabeza, comprenden a las personas que aun teniendo sus piernas no tienen movimiento en éstas, o sus movimientos tienen restricciones que provocan que no puedan desplazarse por sí mismas, de tal forma que necesitan la ayuda de otra persona o de algún instrumento como silla de ruedas, andadera o una pierna artificial (prótesis).

Este subgrupo también incluye a las personas que tienen limitaciones para doblarse, estirarse, agacharse para recoger objetos y todas aquellas discapacidades de movimiento de tronco, cuello, y cabeza (excepto parálisis facial); así mismo incluye a las deficiencias músculo-esqueléticas que afectan la postura y el equilibrio del cuerpo.

El MEF ha adquirido una gran importancia en el diseño y análisis de elementos y/o sistemas mecánicos sometidos a cargas, en el campo de la ingeniería, de la física, etc., ya que permite resolver casos que hasta hace poco tiempo eran prácticamente imposibles de resolver por métodos matemáticos tradicionales.

Esta circunstancia obligaba a realizar prototipos, ensayarlos e ir realizando mejoras de forma iterativa, lo que traía consigo un elevado costo tanto económico como en tiempo de desarrollo.

Las piezas que se someten a una carga variable y repetida se rompen a tensiones considerablemente menores que el límite de rotura del material a carga estática.

A este fenómeno se le conoce como fatiga y durante el diseño de algunos componentes se deben contemplar sus afectaciones. Generalmente se tienen afectaciones considerables para piezas de máquinas que se mueven a altas revoluciones y con cargas cíclicas o repetitivas, que pueden alcanzar hasta millones de ciclos en todo el periodo de servicio de la máquina. Sin embargo, las afectaciones también suelen ser graves para máquinas que trabajan a bajas velocidades. Avilés (2005).

Se han reportado diversos estudios relativos al análisis de esfuerzos en sistemas mecánicos, aunque ninguno en un sistema similar. En un estudio realizado por Ingalls (2011), se reportó el diseño conceptual de una andadera para discapacitados, en el que realizan un análisis por el MEF para uno de los componentes, las bases de las ruedas, de forma estática y lineal.

El marco de soporte de la andadera no fue analizado. En otro artículo se documenta la metodología para el diseño de un dispositivo que permite automatizar una silla de ruedas y que muestra el análisis mediante elementos finitos de un componente crítico, el soporte del motor y pernos de sujeción, obteniendo un estado de esfuerzos que el dispositivo soporta (Martínez y Ramírez, 2010).

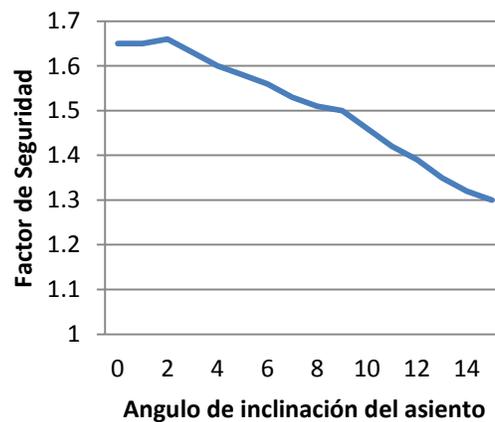
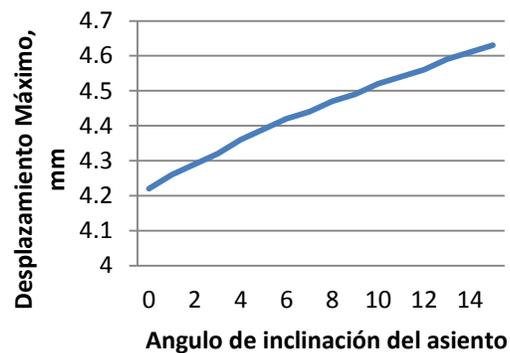
Para el desarrollo de esta investigación se utilizó el método de elemento finito con el propósito de obtener una mejor aproximación en cuanto a la resistencia mecánica, estática y por fatiga, de los componentes principales de la andadera, que juntos conforman el chasis principal.

16.1 Materiales y métodos

Como características principales la andadera se tiene que es telescópica, fabricada en perfiles tubulares industriales, lo que permite ajustar su altura a diferentes medidas, adecuada para niños de entre 9 y 12 años; peso ligero de apenas 3 kg, una estructura tubular, completamente desmontable, con un sistema que permite ajustar la inclinación y posición del asiento y respaldo frontal. Con ruedas guía en el frente que permiten la dirección de la andadera apoyándose con las manos en la cubierta y con los pies en el piso. Ver Figura 16.

Figura 16 Modelo de andadera

Para el modelo inicial mostrado en la figura 1 se determinaron el factor de seguridad, los desplazamientos máximos, así como el comportamiento a la fatiga, para distintas inclinaciones del asiento. Ver Figs. 2 y 3.

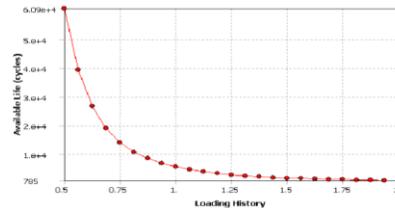
Figura 16.1 Gráfico de resultados del factor de seguridad**Figura 16.2** Gráfico de resultados de los desplazamientos máximos

En base a estos resultados preliminares, se encontró que la estructura de la silla si resiste bajo carga estática, encontrando valores de 1.3 en el factor de seguridad para un ángulo de inclinación del asiento de 15 grados respecto de la horizontal.

Sin embargo los niños que presentan este tipo de discapacidades no permanecen en la misma posición mientras se encuentran en la silla. Generalmente se mueven de forma brusca o se elevan y dejan caer. Por tal motivo se realizó también un análisis a fatiga.

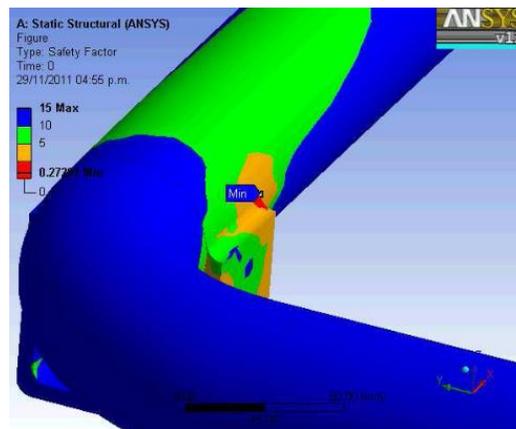
Una vez realizado el análisis a fatiga se encontró que el factor de seguridad disminuía bruscamente hasta valores de 0.27 para 1,000,000 ciclos de carga propuestos. Ver Fig. 4. Así mismo se puede apreciar en la misma figura que para un factor de seguridad de 1.0 se tendrían 890 ciclos.

Figura 16.3 Gráfico de resultados del factor de seguridad a la fatiga



Esta situación indica que se podrían tener daños en la estructura a un corto tiempo de uso. En la Fig. 16.4 se aprecia una zona que podría ceder durante el uso de la silla.

Figura 16.4 Zona crítica en un apoyo de la silla



Para propósitos de análisis, y una vez que se revisaron los resultados obtenidos, se propusieron modificaciones en el modelo previo. Se utilizarán los mismos materiales, perfil tubular en acero ASTM A-36 pero en diferentes grosores y se compondrá de los mismos elementos; el inferior que funge como base y el superior que se puede deslizar en los tres pilares del inferior para ajustar la altura mediante perillas roscadas. Como materiales se propusieron tubo de 3/4" para la parte inferior, y tubo de 1/2" para la parte superior de cédulas más gruesas.

La parte superior se reforzó con perfil tubular de 1/2" para soportar en el centro una sección del asiento y sujetar la cubierta. En la sección inferior trasera tiene orificios para el montaje de las ruedas traseras y en el frente tiene placas perforadas y soldadas para la guía de las ruedas delanteras. Ver Figura 16.5.

Figura 16.5 Modelo propuesto.

Condiciones iniciales

Las propiedades del acero estructural ASTM A 36 son: esfuerzo de fluencia: 248 MPa, resistencia última a la tensión: 400 – 551 MPa, % de elongación en 8" min: 20, módulo de elasticidad de 200 MPa y una densidad de 0.00000785 kg/cm³. Todas las uniones son soldadas con soldadura E6013.

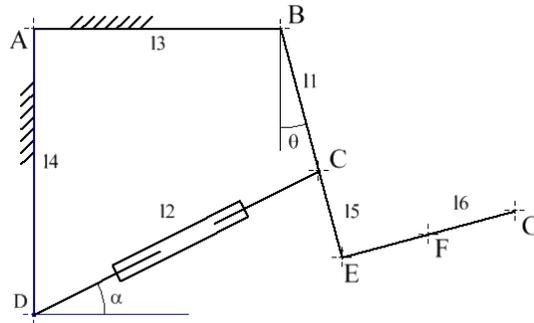
Cargas y condiciones en los apoyos

La simulación se realizó para varios estados de carga, dependientes del peso del niño, de su posición en el asiento y de la inclinación del mismo.

El peso promedio de un adolescente de 11 a 14 años de edad es de 45 kg. Sin embargo, de acuerdo al Índice de Masa Corporal (IMC), un niño de 12 años puede tener un peso de hasta 58.5 kg, en estado de obesidad, Gobierno Federal, Secretaría de salud (2011). En base a esto y para distintas posiciones se determinaron las reacciones en los apoyos de la estructura, mismos que sirvieron para hacer el análisis.

En la Fig. 16.6. se muestra el diagrama cinemático auxiliar del mecanismo de levante para asiento. Dicho sistema tiene dos elementos considerados como fijos: l3 y l4. Al modificar la longitud del brazo l2, se presenta una variación en los ángulos Θ y α . A sí mismo Θ representa el ángulo de inclinación del asiento. Si bien es cierto que durante el uso de la silla no se estará modificando la posición continuamente, ésta sí afectará para determinar las reacciones en los apoyos B y D, en base a la carga que se concentra en el ponto F.

A continuación se plantearon las ecuaciones de restricción en base a la geometría. En total se encontraron tres ecuaciones, de las cuales las dos primeras establecen las relaciones geométricas que deben cumplirse en el mecanismo y la tercera impone las condiciones de posición en el eslabón de entrada.

Figura 16.6 Diagrama cinemático auxiliar.

$$l_2 \cos \alpha - l_1 \sin \theta - l_3 = 0$$

$$l_2 \sin \alpha + l_1 \cos \theta - l_4 = 0$$

$$l_2 - s = 0$$

Tabla 16 Parámetros geométricos.

Parámetro	Dimensión
11	165 mm
12	Variable 315 – 356 mm
13	275 mm
14	320 mm
15	100 mm
16	200 mm

Resolviendo simultáneamente las expresiones anteriores y sustituyendo los valores conocidos de los parámetros iniciales se obtuvieron los resultados en cuanto a posición articular. Ver Figs. 16.7 y 16.8.

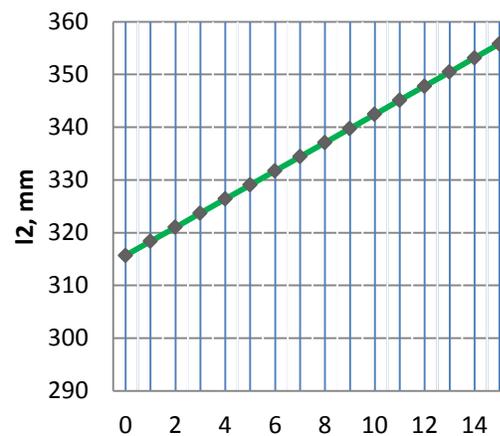
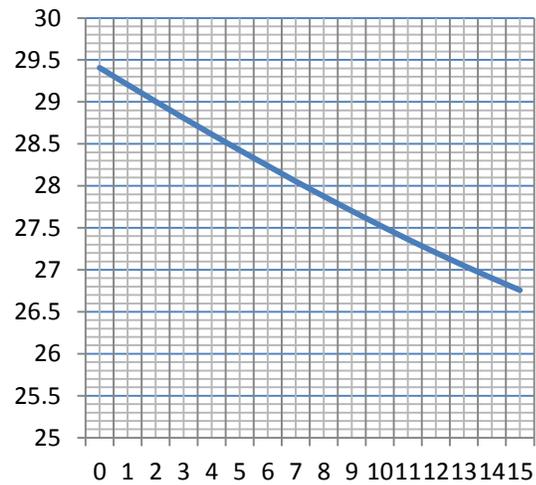
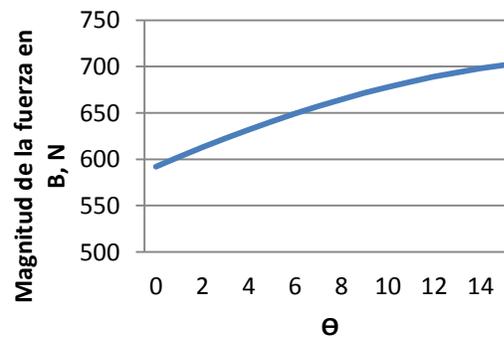
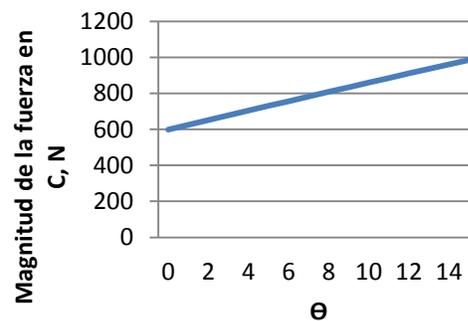
Figura 16.7 Longitud 2 en función del ángulo de inclinación Θ .

Figura 16.8 Angulo α en función del ángulo Θ 

Conociendo la posición de cada uno de los componentes del sistema, se procede a continuación a determinar las reacciones en los apoyos en base al ángulo de inclinación del asiento. Ver Figs. 10 y 11.

Figura 16.9 Magnitud de la fuerza en el apoyo B**Figura 16.10** Magnitud de la fuerza en el apoyo C

Al modelo bajo análisis se le asignarán cuatro condiciones de apoyo, ver Figuras 10 y 11: las primeras dos en los soportes frontales de las ruedas guía, que se representará como una combinación de una unión cilíndrica y un soporte sin fricción. Para propósitos de análisis se restringe el movimiento de la estructura en el plano de soporte, aunque durante su uso un niño la pueda empujar en cualquier dirección y se deslice. Los apoyos en las ruedas de la sección trasera se modelarán como soportes sin fricción.

Discretización

La malla generada para realizar el análisis por el MEF se asignó primero por default, posteriormente se hicieron refinamientos en algunas zonas de interés donde se tenía una concentración crítica de esfuerzos.

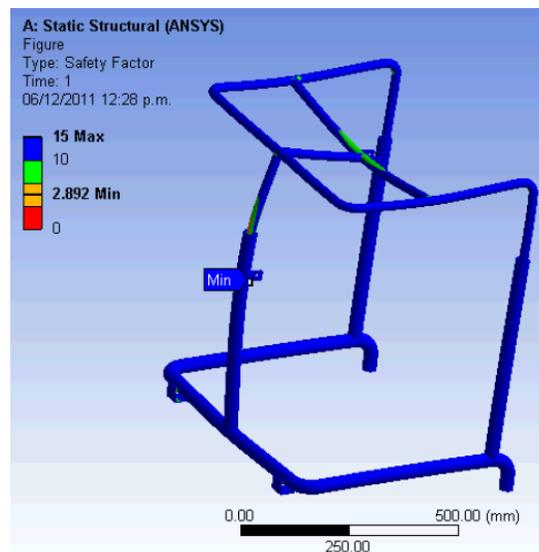
Como elementos base se asignaron elementos prismáticos y tetrahedros. La malla generada presentó un total de 131537 nodos y 39755 elementos.

16.2 Resultados y discusión

Para el cálculo estático de la estructura se considero que las cargas se aplican a una velocidad relativamente baja, de tal forma que no influya en los resultados finales.

Un análisis lineal asume que las deformaciones debidas a las cargas aplicadas son despreciables por que los esfuerzos y las deformaciones están dentro del límite elástico del material. Por lo tanto se eligió un análisis lineal. En la **Figura 16.11** se indican la distribución y los valores críticos obtenidos para el factor de seguridad.

Figura 16.11 Factor de seguridad bajo carga estática



En el cálculo a la fatiga se presentó un comportamiento satisfactorio durante el análisis. El factor de seguridad mínimo es por debajo de 1 para 1,000,000 ciclos de carga propuestos.

Ver Figs. 16.12 y 16.13. Así mismo se puede apreciar en la misma figura que para un factor de seguridad de 1.0 se tendrían 275,000 ciclos.

Figura 16.12 Factor de seguridad a la fatiga

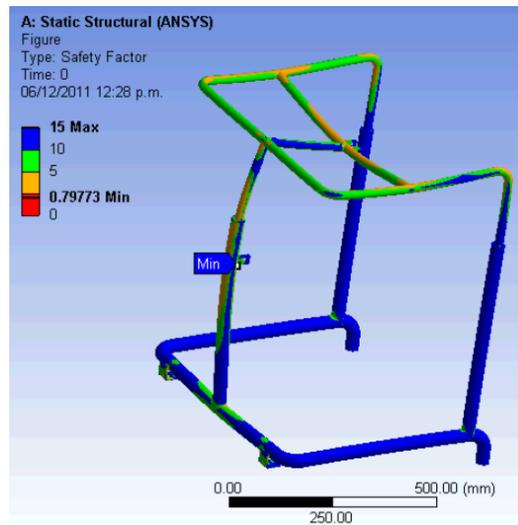
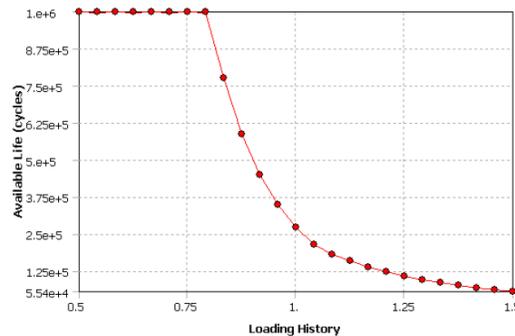


Figura 16.13 Variación del factor de seguridad a la fatiga



Los resultados obtenidos fueron aceptables encontrando valores de esfuerzos muy por debajo del valor de referencia para el esfuerzo de fluencia de material utilizado, y un valor mínimo para el factor de seguridad de 2.8 en la posición crítica de 15 grados de inclinación. Esto indica que la estructura de la silla soporta de forma satisfactoria la carga de un niño.

16.3 Conclusiones

En este trabajo se puso especial atención en el análisis de las características de resistencia bajo un número de ciclos de carga determinados, para el chasis de una silla fabricada enteramente con perfiles estructurales comerciales. Para ambos casos de estudio, tanto el análisis estático lineal como para el análisis de fatiga, se encontró que la distribución de esfuerzos, deformaciones y factor de seguridad se determinaron en base a cargas originadas por condiciones especiales de operación. Se determinó al final que en ambas condiciones la estructura resiste, aunque por las condiciones y la naturaleza de aplicación de la carga y en base al estudio de fatiga, la silla es segura hasta por 275,000 ciclos de carga.

Es conveniente también realizar un proceso de optimización de material debido a que en algunas regiones del chasis se observa que los esfuerzos están muy por debajo del valor de referencia, lo que daría pie a reducir materiales pero sin sacrificar resistencia. En cuanto al análisis a fatiga se aprecia que al aumentar la cantidad de material, aumentando la sección transversal de los perfiles estructurales en la base, se obtiene mejor respuesta a la aplicación de la carga y de forma adicional se consigue mejor estabilidad, ya que se reduce la distancia desde el suelo hasta el centro de gravedad.

16.4 Agradecimientos

Se hace un especial agradecimiento al Tecnológico de Celaya por el apoyo brindado en el uso de una licencia de ANSYS WORKBENCH.

16.5 Referencias

Gobierno Federal, Secretaría de salud. (2011). Cartilla nacional de salud para adolescentes de 10 a 19 años, México..

Avilés Rafael. (2005). Análisis de Fatiga en Máquinas, Thomson, España.

Ingalls Roman Fernando. (2011). Diseño conceptual de una andadera para subir y bajar escaleras. Tesis para obtener el grado de Ingeniería mecánica. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de México.

Martínez Quintero J. C. y Ramírez Arias J. L. (2010). Simulación de elementos finitos de un dispositivo adaptado a una silla de ruedas para automatizarla y modelado 3D con Matlab. *Revista Ingeniería solidaria. Volumen 6. Número 10.* Pp. 53-58.