

SIMULACIÓN DE ELEMENTOS FINITOS DE UN DISPOSITIVO ADAPTADO A UNA SILLA DE RUEDAS PARA AUTOMATIZARLA Y MODELADO 3D CON MATLAB

FINITE ELEMENTS' SIMULATION OF A DEVICE ADAPTED TO A WHEELCHAIR IN ORDER TO AUTOMATE IT AND 3D MODELLING WITH MATLAB

Recibido: 5 de mayo del 2010

Aprobado: 20 de junio del 2010

JOSÉ LUIS RAMÍREZ ARIAS*
JUAN CARLOS MARTÍNEZ QUINTERO**

Resumen

El artículo explica la metodología que han seguido los autores para crear un dispositivo que permita automatizar una silla de ruedas para pacientes cuadripléjicos. Se enseña el análisis mediante elementos finitos que realizaron los autores de las cargas y de los esfuerzos que el dispositivo soporta. Se exponen los resultados del modelo desarrollado usando el lenguaje VRML en Matlab mediante la herramienta V-Realm Builder. Se muestra también el estudio del centro de masa ya que es un criterio relevante en el diseño del que depende la estabilidad estática de la silla. De igual manera, se detalla cómo los pernos soportan el motor y se explica cómo el lenguaje de programación utilizado permitió graficar el modelo.

Palabras clave: silla de ruedas, modelo matemático, VRML.

Abstract

This article explains the methodology that the authors have used to create a device which allows automating a wheelchair for quadriplegic patients. It shows the analysis performed by the authors through finite elements regarding loading and efforts the device holds on. It shows the results of the model developed using the VRML language in Matlab by means of the V-Realm Builder tool. It also shows the center of mass' analysis due to the fact that it is a relevant criterion in the design, as the static stability of the chair depends upon it. Similarly, it details how the bolts support the motor and how the programming language used allowed charting the model.

Keywords: wheelchair, mathematical model, VRML.

• Cómo citar este artículo: 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", en *Revista Ingeniería Solidaria*, vol. 6, núm. 10, pp. 53-58.

* C. MSc. Sistemas Automáticos de Producción, Ingeniero Mecatrónico. Docente investigador Universidad Cooperativa de Colombia, seccional Bogotá. Correo electrónico: jolurar@correoucc.edu.co

** C. MSc. Sistemas Automáticos de Producción, Ingeniero Electrónico. Docente investigador Universidad Cooperativa de Colombia, seccional Bogotá. Correo electrónico: juancarlosmartinezq@hotmail.com

Introducción

Muchos estudios han demostrado que niños y adultos con discapacidades se benefician sustancialmente con el acceso a entes de movilidad independiente. Sin embargo, es necesario considerar que mientras la necesidad de muchos individuos se puede satisfacer con mecanismos tradicionales, manuales o con sillas de ruedas automatizadas (Cooper et ál., 1998, p. 220; Simpson, 2002, p. 125), un segmento de la población discapacitada está impedida para usar dichas sillas por sí mismo (Simpson, 2005, p. 175).

Algunas tecnologías originalmente desarrolladas para la robótica móvil son utilizadas hoy en día en sillas de ruedas automatizadas que ofrezcan a personas con discapacidad de movimiento total una solución. La presente investigación se centra en brindar una alternativa a esta población.

En el mercado existen diferentes sillas de ruedas de acuerdo con la discapacidad particular del paciente, en este caso se seleccionó una para personas con cuadriplejia, con el objetivo de desarrollar un dispositivo adaptable para automatizarla. Éste debe garantizar que no se modifiquen las consideraciones estructurales antropométricas (Paquet y Feathers, 2004, p. 150) de la silla original, asegurando una posición estable para el usuario (Van der Helm y Veeger, 1996; Kang, 1998, p. 75; Boiadzjiev y Stefanov, 2002, p. 85).

Metodología

La silla de ruedas seleccionada fue modelada usando la herramienta de diseño V-Realm Builder incluida en Matlab, para disponer de un modelo digital que permite versatilidad para comprobar las modificaciones que se aplicarán antes de implementarlas físicamente. Así se facilita la aproximación al modelo matemático que se plantea.

Modelo matemático

Análisis de centro de masa

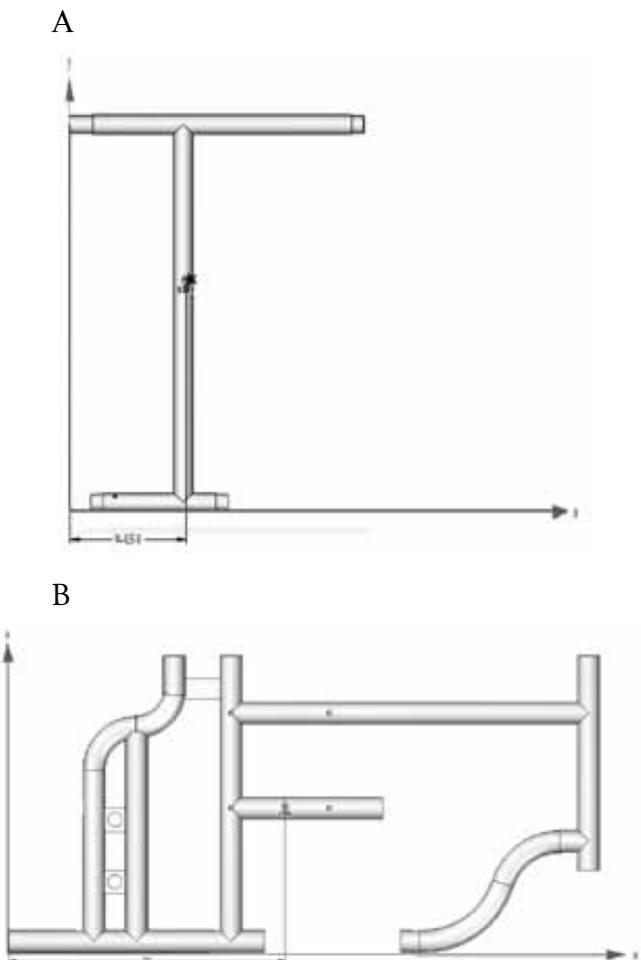
La posición del centro de masa es un criterio relevante en el diseño, ya que de él depende la estabilidad estática de la silla (Lee Kirby, Ackroyd-Stolaq y MacLeod, 1996, p. 110), por lo tanto se calculó

para la estructura principal con el fin de establecer la mejor ubicación del dispositivo que se adaptará. Para este análisis, se consideró que la distribución de masa está dividida en secciones (Serway, 2003, p. 223), correspondiendo cada una de ellas a una parte de la estructura, las cuales se analizarán por separado para determinar el centro de masa total.

Cada una de estas secciones tendrá un centro de masa y un Δ de masa. El centro de masa total se define como la sumatoria del producto de la posición del centro de masa y el Δ de masa de cada sección en relación con la masa total de la silla así:

$$X_{cm} = \frac{\sum_i x_i \Delta m_i}{M} \quad (1)$$

Para el soporte principal se calculó una distancia de 292 mm desde los ejes principales al centro de masa (ver figura 1a); los soportes auxiliares tienen una distancia de 148,58 mm (ver figura 1b), y los estructurales se encuentran a 22,5 mm (ver figura 1c).



C

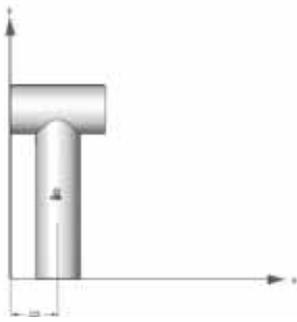


Figura 1. a) Centro de masa del soporte principal. b) Centro de masa de los soportes auxiliares. c) Centro de masa del soporte estructural

Fuente: los autores

Una vez finalizado el análisis particular de cada una de las piezas, se determinó el centro de masa del conjunto, hallando que la ubicación del centro de masa respecto al origen es de 163,33 mm. Con este parámetro se estableció la ubicación correcta del dispositivo adaptable, para que el conjunto no presente problemas de estabilidad.

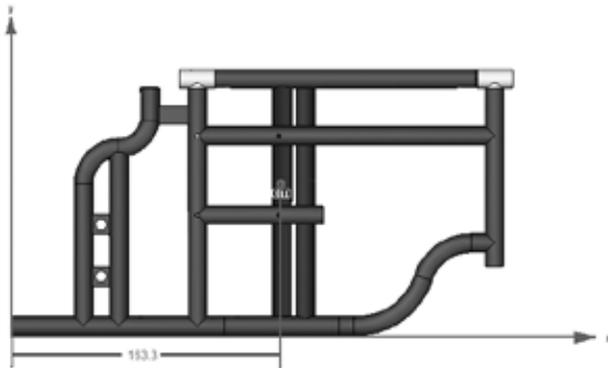


Figura 2. Ubicación centro de masa conjunto estructura

Fuente: los autores

De acuerdo con la ubicación de las ruedas, y haciendo uso del criterio del momentum lineal, se determinó que el centro de masa podía ser movido un máximo de ± 10 cm.

Análisis del centro de masa con el dispositivo adaptable

Al agregar este dispositivo, implícitamente se añaden cargas estáticas. Con el objetivo de no alterar el equilibrio, se seleccionó la parte posterior de la silla como la mejor posición. Para verificar este parámetro de nuevo se analiza el centro de masa,

ahora considerando el dispositivo adaptable.

El nuevo centro de masa fue de 158 mm, como lo muestra la figura 3. Es evidente que la variación del centro de masa no superó los ± 10 cm de diferencia, corroborando así la estabilidad de la estructura en presencia del dispositivo adaptable.

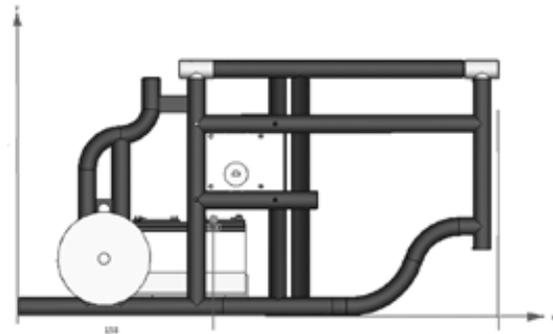


Figura 3. Ubicación del centro de masa de la silla con el dispositivo adaptable

Fuente: los autores

Análisis estático del dispositivo adaptable

Para determinar los esfuerzos y las deformaciones a las que estará sometida la estructura, se desarrolló el análisis por elementos finitos que permite determinar si la estructura estaría en capacidad de soportar las cargas ejercidas por el dispositivo diseñado.

Se abordará el análisis desde dos puntos de vista: el primero es considerar si el dispositivo ubicado en la base soportará las cargas aplicadas, para lo que se consideró que éste tiene un peso de 10 Kg aproximadamente, ejerciendo una presión de 16 Pascales (ver figura 4).

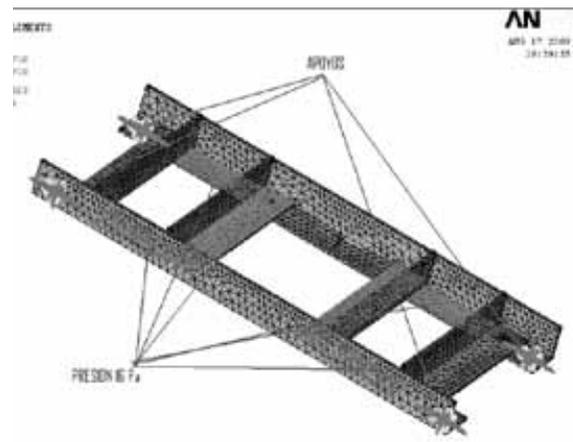


Figura 4. Condiciones de frontera, reacciones en los apoyos y presión aplicada

Fuente: los autores

El material usado es acero 1040, el cual tiene un módulo de elasticidad $E = 262 \text{ MPa}$, y un módulo de Poisson de 0,29. Finalizado el análisis de elementos finitos (figura 5 y 6), se obtuvo como resultado que la deformación máxima fue de 0,021007 mm. Se observa entonces que la estructura soportará la carga aplicada sin evidenciar daños permanentes en el material.

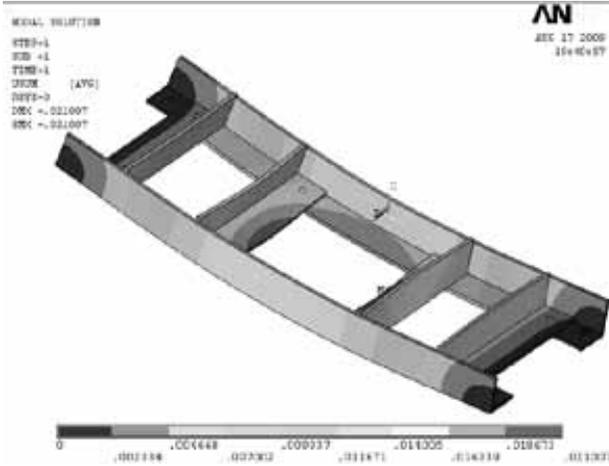


Figura 5. Deformación

Fuente: los autores



Figura 6. Deformación respecto al no deformado

Fuente: los autores

El análisis de Von Mises mostrado en la figura 7 permite conocer las condiciones de esfuerzo combinado que se generan en el sistema, las cuales, al compararse con el módulo de elasticidad, permiten saber si el material estará en la región plástica o elástica. El máximo que soporta el material será de 31,2 KPa, siendo este resultado inferior a su límite

elástico típico.

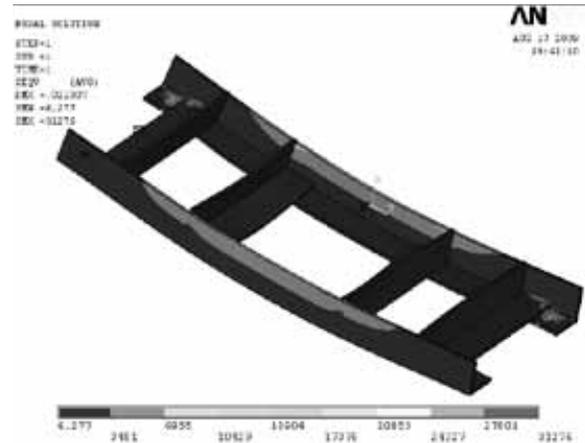


Figura 7. Esfuerzos de Von Mises

Fuente: los autores

Resultados

Análisis estructural de los soportes del motor

Los soportes del motor están constituidos por pernos que soportan esfuerzos cortantes causados por el peso y la carga del motor, a diferencia de la placa que se fija a la silla y que no soporta fuerzas considerables; se calculó que la última es de 3Pa, con lo que se simuló el perno a condiciones de esfuerzo cortante de acuerdo con las condiciones dadas (en la figura 8 se aprecian las condiciones de frontera).

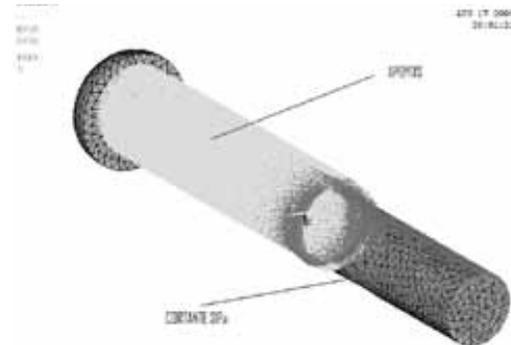


Figura 8. Condiciones de frontera, reacciones en los apoyos y presión aplicada

Fuente: los autores

El material usado con el cual están fabricados los pernos es acero 1020, cuyo módulo de elasticidad es de $E = 245 \text{ MPa}$ y el módulo de Poisson de 0,29. El resultado del análisis mediante elementos finitos (ver figura 9 y 10) evidencia que la deformación máxima que se presentará será de $0,103 \text{ E-5 mm}$ y

el esfuerzo máximo que soporta el material será de 498 Pa (ver figura 11). Se observa además que el perno aguantará la carga aplicada sin sufrir daños.

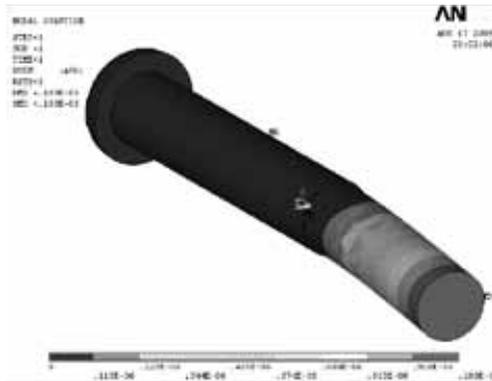


Figura 9. Resultado del análisis mediante elementos finitos (primera parte)
Fuente: los autores



Figura 10. Resultado del análisis mediante elementos finitos (segunda parte)
Fuente: los autores

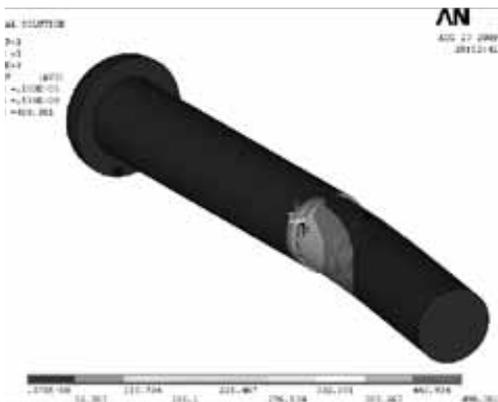


Figura 11. Esfuerzo máximo que soporta el material
Fuente: los autores

Modelado de la silla mediante Matlab

Matlab ofrece herramientas gráficas de modelado y simulación de ambientes virtuales, una de las cuales

es v-Realm-Builder, en donde se construyó el modelo tridimensional de la silla, utilizando el lenguaje VRML (ver figura 12).

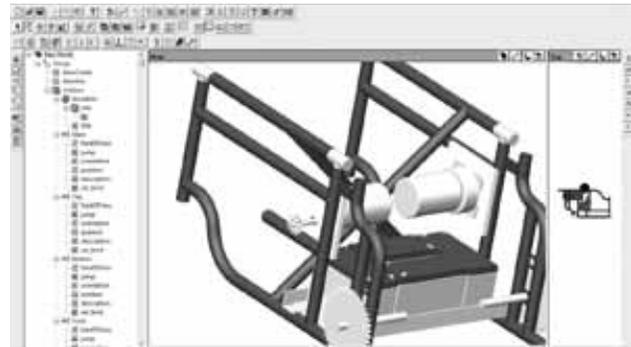


Figura 12. Modelado 3D de la silla
Fuente: Matlab-Mathworks

Como se observa, en el modelo se adaptó el dispositivo previo a su implementación real, permitiendo optimizar el diseño y creando una interfaz directa con Simulink. Esta herramienta permite simular su comportamiento al aplicar instrumentos de control (Shim, Chung y Hong, 2001, p. 250); en la figura 13 se evidencia el diseño de un controlador aplicado a un ambiente virtual modelado en Matlab (Cooper, 2002, p. 126).

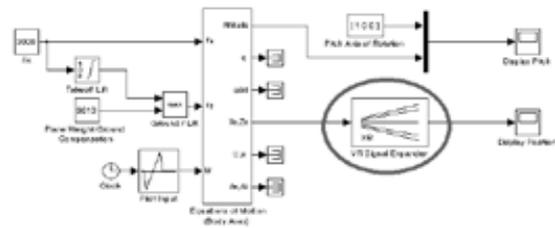


Figura 13. Sistema de control aplicado a un ambiente virtual
Fuente: Matlab-Mathworks

Conclusiones

Los resultados del análisis mediante elementos finitos de las cargas y esfuerzos que soportará el dispositivo evidenciaron que aguantará de manera adecuada las condiciones de operación planteadas.

El modelo tridimensional obtenido ofrece una herramienta poderosa e importante ya que permite simular el resultado de aplicar estrategias de control a ambientes virtuales, logrando conocer una previa implementación al resultado e incrementando considerablemente la efectividad en el diseño a utilizar.

Referencias

- Boiadzjiev, G. y Stefanov, D. (2002), "Powered wheelchair control based on the dynamical criteria of stability", en *Mechatronics*, vol. 12, núm. 4, pp. 543-562.
- Cooper, R. D., O'Connor, M., Boninger, T. M. y Jones, D. (1998), "Braking Electric-Powered Wheelchairs: Effect of Braking Method, Seatbelt, and Legrests", en *Arch Phys Med Rehabil*, vol. 79, núm. 10, pp. 1244-1249.
- Cooper, R. (2002), "Comparison of virtual and real electric powered wheelchair driving using a position sensing joystick and an isometric joystick", en *Medical Engineering & Physics*, vol. 24, núm. 10, pp. 703-708.
- Kang, W., et ál. (1998), "Crash Simulations of a Wheelchair-Occupant System in Transport", en *Journal of Rehabilitation Research and Development*, vol. 35, pp. 73-84.
- Kirby, L., R. A., Ackroyd-Stolaq, D. A. y MacLeod, A. (1996), "Adding Loads to Occupied Wheelchairs: Effect Rear and Forward Stability", en *Arch Phys Med Rehabil*, vol. 77.
- Paquet, V. y Feathers, D. (2004), "An anthropometric study of manual and powered wheelchair users", en *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 33, núm. 3, pp. 191-204.
- Serway, R. (2003), *Física Tomo I*, 6.^a ed., México, Internacional Thomson Editores.
- Shim, H. M., Chung, S. B. y Hong, J. P. (2001), *A Powered Wheelchair Controller Based On Master-Slave Control Architecture* [conferencia], Pusan, ISIE 2001. IEEE International.
- Simpson, R. C. y Levine, S. P. (2002), "Voice Control of a Powered Wheelchair", en *IEEE Transactions on neural systems & rehabilitation engineering*, vol. 10, núm. 2, pp. 122-125.
- Simpson, R. C. (2005), "Smart Wheelchairs: A literature Review", en *J Rehabil Res Dev*, vol. 42, núm. 4, pp. 423-36.
- Van der Helm, F. C. T. y Veeger, H. E. J. (1996), "Quasi-Static Analysis of Muscle Forces in the Shoulder Mechanism During Wheelchair Propulsion", en *Journal of Biomechanics*, vol. 29, núm. 1, pp. 39-52.