



# DISEÑO DE UN **ESTABILIZADOR POSTURAL** PARA PERSONAS CON CUADRIPLÉJIA

Viridiana Serna Pérez <sup>1</sup>, Hugo Rodríguez Escalera <sup>2</sup>, Javier Gutiérrez González <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Ingeniería en Diseño Industrial,  
Universidad Politécnica del  
Bicentenario (UPB),  
Carretera Estatal Silao – Romita Km.  
2, San Juan de los Durán,  
Silao, Gto. México, C.P. 36283,



114030029@upbicentenario.edu.mx

Recibido: **Noviembre 11, 2016.**

Recibido en forma revisada: **Noviembre 24, 2016.**

Aceptado: **Enero 9, 2017.**

**Resumen:** Los estabilizadores posturales son dispositivos utilizados por personas con discapacidad motora, estos equipos logran mantener en postura bípeda a los pacientes y así mejorar la circulación sanguínea. El presente artículo muestra el desarrollo del diseño y análisis estático del equipo, cuidando los requerimientos ergonómicos, antropométricos y sin poner en riesgo la integridad del paciente, además de un bajo costo de manufactura.

Se elaboró una metodología de diseño adecuada al tipo de dispositivo, a partir de la cual se obtuvo una propuesta modelada con software CAD, se logró encontrar la posición del centro de gravedad del sistema, a fin de realizar un análisis de estabilidad en la posición vertical de la cama con el paciente. También analizó la resistencia mecánica de los componentes críticos del estabilizador con la realización de un análisis estático mediante software de Análisis por Elemento Finito, con lo cual se validó el diseño.

**+ Palabras clave:** Estabilizador postural, bípeda, cuadriplejía, análisis de estabilidad, análisis estático.

**Abstract:** The postural stabilizers are devices used by people with motor disabilities, these equipments manage to maintain patients in a biped position and thus improve blood circulation. The present article shows the development of the static design and analysis of the equipment, taking care of the ergonomic, anthropometric requirements and without compromising the integrity of the patient, besides with a low cost of manufacture.

A design methodology was developed, adapted to the type of device, from which a proposal was modeled with CAD software, through which it was possible to find the position of the center of gravity of the system, in order to perform an Analysis of stability in the vertical position of the bed with patient. The mechanical resistance of the critical components of the stabilizer was also analyzed by performing a static analysis using Finite Element Analysis software, which validated the design.

✦ **Keywords:** *Stabilizing posture, bipedal, quadriplegia, stability analysis, static analysis.*

## Introducción

La discapacidad más frecuente en México es la de movilidad que representa el 58% de los cinco millones 739 mil 270 personas con discapacidad (INEGI, 2013). Dentro de esta discapacidad se encuentra la cuadriplejía que es la deficiencia para mover las extremidades superiores e inferiores, que constituye un 54% de los casos. “Se calcula que la incidencia anual de lesión medular en México es de 18.1 por millón de habitantes y ocurre con más frecuencia en hombres en edad productiva (16 a 35 años de edad)” (Estrada, 2007).

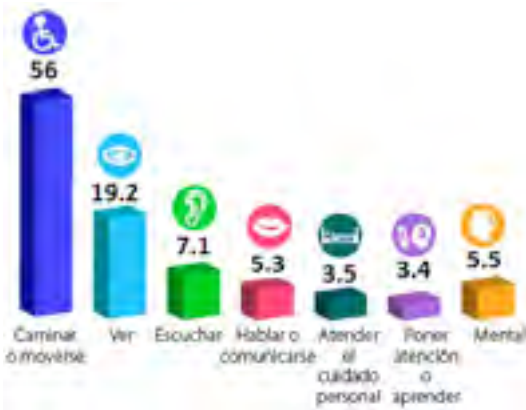


Figura 1. Porcentaje de discapacidad en México (INEGI, 2013).

Muchas de las complicaciones de la cuadriplejía suceden por la falta de movimiento, causando la mala circulación de la sangre, esto a su vez puede causar llagas de presión, hinchazón de los pies y coágulos de sangre peligrosos sobre todo en las piernas; además, existe la posibilidad de presentar problemas en el funcionamiento de la vejiga y mayor predisposición a infecciones del tracto urinario (Werner, Thuman y Maxwell, 2013). Los estabilizadores posturales ayudan a evitar todos estos problemas, pues su función principal es mantener una postura bípeda, logrando así regular la sangre de los pacientes.

El objetivo de este proyecto es diseñar un estabilizador postural para

personas adultas con cuadriplejía que cumpla los requerimientos ergonómicos, antropométricos y sin poner en riesgo la integridad del paciente, además de cumplir con el requerimiento principal que es un bajo costo de manufactura.

Para la elaboración de este diseño se determinaron las características principales: el acolchonamiento de la cama, el cuidado de los pies y la seguridad del paciente, estas características son indispensables para el desarrollo del dispositivo que se realiza mediante un software CAD; gracias a esto, se procede a hacer un análisis de estabilidad con el fin de que no se presente una volcadura y un análisis estático en software de Análisis por Elemento Finito, donde se comprueba el esfuerzo y la deflexión de los materiales utilizados.

## Metodología

El proceso de diseño completo se muestra en la Figura 2, es una lista de verificación elaborada para este proyecto. Comienza con la identificación del problema general y la decisión de hacer algo al respecto; después de varios seguimientos, termina con la solución para satisfacer la necesidad.

Tal vez el tipo más sencillo de método con un marco de referencia lógico es la lista de verificación. La lista exterioriza lo que se tiene que hacer, de manera que no sea necesario recordar todo mentalmente y para que no se pase por alto alguna cosa. Las listas también permiten el trabajo en equipo o la participación de un grupo más amplio (Cross, 2010).

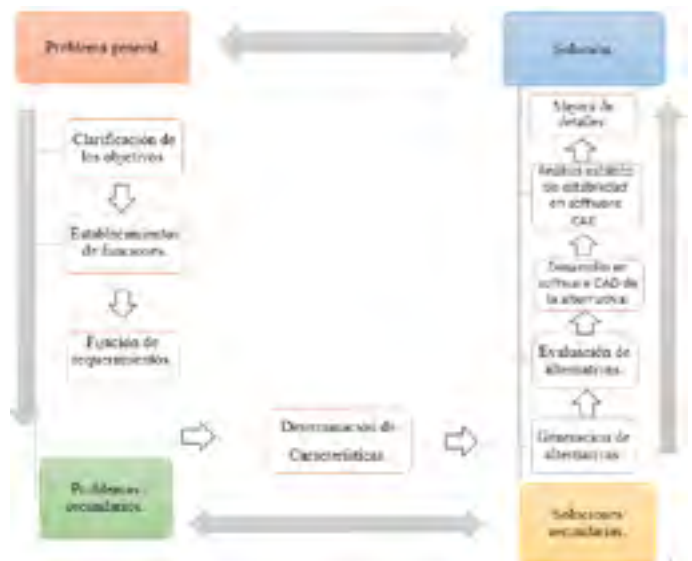


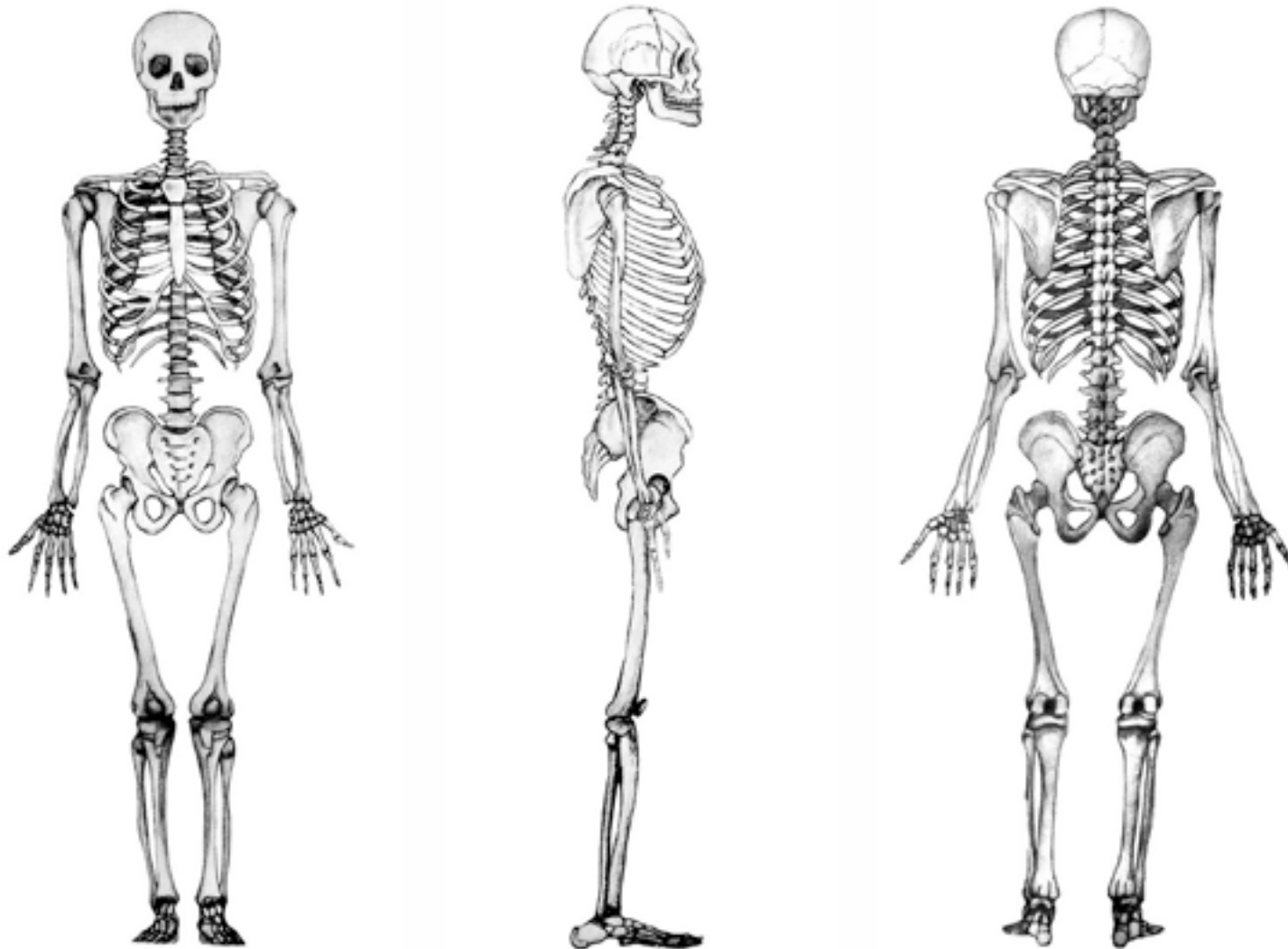
Figura 2. Etapas del diseño.

## Características del diseño

Para la elaboración del diseño se tomaron en cuenta las siguientes características, con el fin de que brinde seguridad y ergonomía:

✦ Seguridad del paciente:

Para evitar que la persona se caiga al momento de la inclinación del estabilizador, se deben de utilizar correas de sujeción a nivel del tórax, la cadera y las rodillas.



+ **Acolchonamiento:**  
Para prevenir llagas de presión en la piel del paciente, el colchón debe ser suave, con una colchoneta firme.

+ **Cuidado de los pies:**  
Cuando hay espasticidad es fácil que se desarrollen contracturas que hacen que los pies se engarroten; por esta razón se recomienda mantener los pies apoyados el mayor tiempo posible, como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Colocación de las correas de sujeción a nivel del tórax, cadera y rodillas y colocación adecuada de los pies (Werner, Thuman y Maxwell, 2013).

## Materiales del diseño

Los materiales para el estabilizador postural se muestran en la Tabla 1, de ellos depende la resistencia, maleabilidad y confort que brinde el diseño.

Cama y acolchonamiento	Materiales y características
	<b>Espuma de poliuretano</b> Y tela automotriz. Proporciona un aislamiento térmico excelente, da rigidez a la estructura y no absorbe agua en cantidades significativas.
<b>Estructura</b> 	<b>Acero PTR de 1.5" y 2"</b> El acero A36 tiene un esfuerzo de fluencia de 2530 kg/cm <sup>2</sup> (250MPa, 36 Ksi), un esfuerzo mínimo de ruptura en tensión de 4080 kg/cm <sup>2</sup> (400 a 550 Mpa, 58 A 80 Ksi) y su soldabilidad es adecuada.
<b>Mecanismo</b> 	<b>Tubo cuadrado de acero inoxidable 2"</b> contienen un mínimo de 12% Cr, lo que permite que se forme una delgada capa protectora de óxido de cromo al exponer el acero al oxígeno. (R. Askelan, 1998)

Tabla 1. Materiales del diseño.

## Análisis de estabilidad

Un cuerpo rígido es aquel que está sometido a un sistema de fuerzas externas y momentos de par, que es el resultado de los efectos de fuerzas gravitacionales, eléctricas, magnéticas o de contacto causadas por cuerpos adyacentes (Hibbeler, 2010).

Un estabilizador postural se puede considerar como un cuerpo rígido, pues en él actúan las fuerzas del peso del paciente y del equipo, la fuerza de gravedad, las fuerzas de reacción y los momentos de par, por esta razón, es necesario hacer un análisis de estabilidad a este diseño para asegurar que no exista una volcadura frontal del equipo y el paciente. Se dice que “cuando la fuerza y el par son iguales a cero, las fuerzas externas forman un sistema equivalente a cero y el cuerpo rígido se encuentra en equilibrio” (Beer, Johnston, & Eisenbeg, 2007).

Para efectuar el análisis, se realiza la primera propuesta de diseño mediante SolidWorks®, con el objetivo de encontrar la posición del centro de gravedad (Figura 4).

Se analiza esta propuesta de diseño donde se aplican las ecuaciones de equilibrio estático cuando  $\Theta=80^\circ$ , debido a que es la posición máxima que inclina el dispositivo y es en esta posición donde hay más probabilidad de una volcadura, además que la fuerza que ejerce el peso del estabilizador y del paciente es  $f_1=1977N$ .

Mediante la sumatoria de momentos y de fuerzas en el punto A, se obtienen las reacciones  $R_{y1}$  y  $R_{y2}$  para la estabilidad del sistema.



Figura 4. (a) Primer diseño del dispositivo mediante SolidWorks®, (b) diagrama de cuerpo libre de la primera propuesta.

$$\sum f_y = R_{y1} + R_{y2} - f_1 = 0 \quad (1)$$

Se despeja  $R_{y1}$  de la ecuación (1)

$$R_{y1} = f_1 - R_{y2} \quad (2)$$

Con la sumatoria de momentos en el punto A se encuentra  $R_{y2}$

$$\sum MA = R_{y2}(1.22m) + f_1(-0.0844m) = 0 \quad (3)$$

$$R_{y2} = \frac{166.85Nm}{1.22m} = 136.76N \quad (4)$$

Se sustituye  $R_{y2}$  en la ecuación (2)

$$R_{y1} = 1977N - 136.76N = 1840.24N \quad (5)$$

El momento que ejerce  $f_1$ , el cual es de 166.85Nm, surge porque la posición de esta fuerza se encuentra a una distancia de -0.0844m en el eje x, quedando fuera de la estructura de la base.

Por esta razón, se rediseñó la base que se muestra en la Figura 5, y de igual forma se le realiza un análisis de estabilidad, pero en este caso  $f_1=2074.03N$  y  $\Theta=80^\circ$

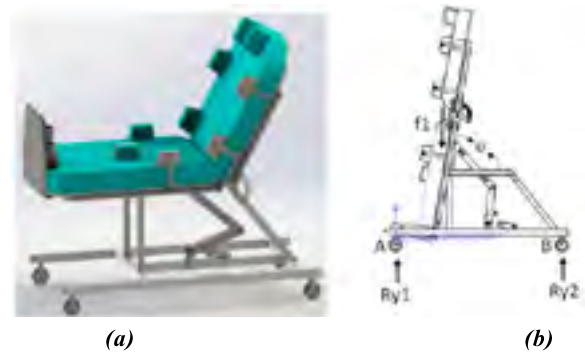


Figura 5. (a) Modelo del dispositivo con el rediseño de la estructura, (b) diagrama de cuerpo libre del dispositivo con el rediseño de la estructura.

$$\sum f_y = R_{y1} + R_{y2} - f_1 = 0 \quad (6)$$

Se despeja  $R_{y1}$  de la ecuación (6)

$$R_{y1} = f_1 - R_{y2} \quad (7)$$

$$\sum MA = R_{y2}(1.4m) + f_1(0.37m) = 0 \quad (8)$$

$$R_{y2} = \frac{769.39Nm}{1.4m} = 548.13N \quad (9)$$

Se sustituye  $R_{y2}$  en la ecuación (7)

$$R_{y1} = 2074.03N - 548.13N = 1525.9N \quad (10)$$

A comparación de la primera propuesta, el momento que ejerce la fuerza es de 769.39Nm, se considera mayor porque la distancia de la posición de  $f_1$  con respecto al punto A en el eje x es de 0.37m.

## Análisis estático

Para estimar la integridad de la estructura del estabilizador se realiza un análisis estático estructural mediante el uso de Elemento Finito, a través del software ANSYS®. Como mencionan Saavedra García y San Antonio (2013), “la velocidad de operación (en este tipo de dispositivos) es muy baja, por lo que los componentes se comportan más como elementos estáticos que dinámicos”.

A partir del rediseño de la estructura de la base, se realiza un análisis estático, mediante un software de Análisis por Elemento Finito, para determinar la viabilidad de los materiales seleccionados y la configuración del diseño; se analizan dos zonas críticas, que son el mecanismo de elevación y la base que da soporte.

Para ambos casos se seleccionó un tipo de malla con elementos tetraédricos predominantes; para el mecanismo, se utilizó una malla con 10312 nodos y 51495 elementos, mientras que para la base se generó una malla de 23969 elementos y 77358 nodos.



Figura 6. Malla del mecanismo de elevación.



Figura 7. Malla de la base.



Se consideraron distintos casos de carga, el más crítico es cuando el paciente y la cama están en posición horizontal, pues es ahí donde algunos de los eslabones del mecanismo están sometidos a mayor flexión. Se usó una carga remota de 1705 N, que representa el peso del paciente y de la cama en la posición adecuada.



*Figura 8. Posición de la fuerza en el mecanismo.*

## Discusión y resultados

El diseño completo del estabilizador postural se muestra en la Figura 9, se creó mediante SolidWorks; además, se desarrollaron los resultados del análisis de estabilidad y del análisis estático en ANSYS.



*Figura 9. Diseño final del estabilizador postural mediante un software CAD.*

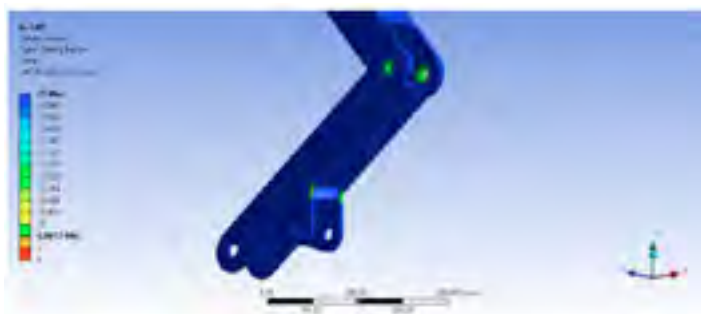
De los dos análisis de estabilidad que se realizaron, la segunda propuesta resulta más confiable, debido a que el diseño de la estructura mostró una mejor distribución del peso del sistema (paciente-estabilizador) sobre las reacciones; además, la posición del centro de gravedad se encuentra a una distancia de 0.37 m con respecto al punto de apoyo en el eje de las x, lo que asegura que no existirá una volcadura frontal del equipo y del paciente. Los valores obtenidos en las reacciones y el momento que ejerce la fuerza de los dos análisis de estabilidad se muestran en la Tabla 2.

Fuerza	Valor de la fuerza de la propuesta 1	Valor de la fuerza de la propuesta 2 (rediseño de la estructura)
$R_{y1}$	1840.24 N	1525.9 N
$R_{y2}$	136.76 N	548.13 N
Momento que ejerce $f_1$	166.85 Nm	769.39 Nm

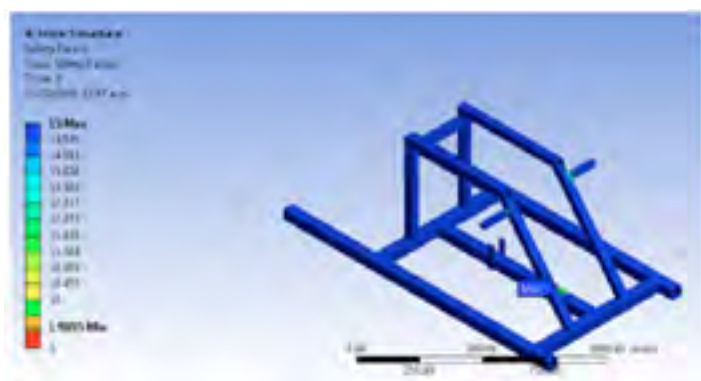
**Tabla 2. Comparación de resultados del análisis de estabilidad de la primera propuesta con la propuesta del rediseño de la estructura.**

Por otro lado, en el análisis de estabilidad para el mecanismo (Figura 10) se usó un perfil de acero inoxidable de 2 pulgadas, calibre 11 (de 3.05 mm de espesor), se rediseñaron las orejas donde el pistón actuador se conecta al eslabón conductor por unas de base más ancha, con la intención de disminuir los esfuerzos presentes en esta zona que resultó ser la más crítica, con estos cambios, se obtuvo un factor de seguridad de hasta 4.8, lo cual es un FS muy amplio para el diseño.

En el caso de la base se obtuvo un factor de seguridad de 1.9 (Figura 11) por lo que se recomienda cambiar los perfiles inferiores de 2 pulgadas de calibre 14 a un calibre de 12.



**Figura 10. Factor de seguridad en las orejas del mecanismo.**



**Figura 11. Factor de seguridad en la estructura de la base.**

## Conclusiones

Con los resultados del segundo análisis de estabilidad, se determina analíticamente que el equipo queda completamente equilibrado; sin embargo, es necesario la fabricación de un prototipo para poder asegurar la no volcadura en condiciones de uso normal, además de la realización de pruebas con pacientes que padezcan la mencionada discapacidad.

En cuanto el análisis estático se obtuvo un factor de seguridad de 1.9 en la base, por lo que se cambiarán los perfiles inferiores de 2" calibre 14 a un calibre de 12 (de 2.66 mm de espesor), debido a que en esta zona es donde se presentan los mayores esfuerzos y por ende el menor factor de seguridad, y de esta manera asegurar la integridad estructural. Con el

rediseño en el mecanismo se obtuvo un factor de seguridad alto de hasta 4.8, lo que significa que no existe un riesgo de fractura en todo el diseño.

Por lo tanto, con las modificaciones, el diseño resulta satisfactorio de acuerdo al objetivo propuesto, ya que satisface las necesidades del paciente en cuanto a la ergonomía, la antropometría, cumpliendo con una propuesta de diseño económica de manufacturar y segura de utilizar para los pacientes con cuadriplejía.

## SIMBOLOGÍA

$\sum f_y$	Sumatoria de fuerzas con respecto al eje y (N)
$R_{y1}$	Primera fuerza de reacción (N)
$R_{y2}$	Segunda fuerza de reacción (N)
$f_1$	Fuerza del peso del paciente con estabilizador (N)
$\sum MA$	Sumatoria de momentos con respecto al punto A (Nm)

## Bibliografía

†Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. Pearson Educación.

†R.Askelan, D. (1998). *Ciencia e ingeniería de los materiales Tercera edición*. México: International Thomson Editores, S.A. de C.V.

†Fernández, B. M. (1997). *Introducción a la medicina y ciencias del deporte III*. Universidad de Oviedo.

†INEGI. (2013). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México)*. México.

†Budynas, R. G., & Nisbett, J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: Mc. Graw Hill.

†Werner, D., Thuman, C., & Maxwell, J. (2013). *Donde no hay doctor: una guía para los campesinos*. Berkeley, California: Hesperian.

†Ronald Saavedra, Eduin García, Thalía San Antonio (2013). *Diseño de un equipo de bipedestación*. Centro de Investigaciones en Mecánica (CIMEC), Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela. *Revista Ingeniería UC*, Vol. 20, No. 1.

†Beer, F. P., Johnston, E. R., & Eisenbeg, E. R. (2007). *Mecánica Vectorial para Ingenieros. Estática*. México: Mc Graw Hill.

†Cross, N. (2010). *Métodos de diseño, estrategias para el diseño de productos*. México: LIMUSA S.A de C.V.

†Hibbeler, R. (2010). *Ingeniería mecánica, Estática*. México: Pearson Educación.