# **Diseño Mecatrónico de un Bipedestador infantil con herramientas CAD/CAE**

# **Mechatronic design of a children standing frame with CAD/CAE tools**

Carlos Enrique Ramírez1, Rolando Esteban Simeón2, Carlos Alberto Trinchet-Varela2, Roberto Pérez-Rodríguez2, Antonio José Martínez Guerra2

1 Empresa COPEXTEL, Holguín, Cuba, [ceramirez@nauta.cu](mailto:ceramirez@nauta.cu)

2 University of Holguín, CAD/CAM Study Center, Cuba, e-mail: {simeon, carlos.trinchet, antonio, roberto.perez}[@uho.edu.cu](mailto:roberto.perez@facing.uho.edu.cu)

**RESUMEN**

En este trabajo, se presenta un método para la generación conceptual de soluciones mecatrónicas en el diseño de un Bipedestador infantil con herramientas CAD/CAE, en un entorno IPMDD. El desarrollo del método basado en el diseño paramétrico e implementado a través de herramientas CAD/CAE, reduce considerablemente los costos de este tipo de proyectos y demuestra, mediante el estudio de caso, la efectividad del método propuesto para el diseño conceptual de un Bipedestador infantil.

Palabras claves: Mecatrónica; diseño; Bipedestador; infantil; CAD; CAE.

**ABSTRACT**

In this work, a method for the conceptual generation of mechatronic solutions in the design of a children standing frame with CAD/CAE tools in a IPMDD framework are presented. The development of a method based on parametric design and implemented through a tool integrated to the CAD/CAE systems, considerably reduced the costs of carrying out this type of project and demonstrated, through the case study, the effectiveness of the method proposed for the conceptual design of a mechatronic children standing frame.

Keywords: Mechatronic; design; standing frame; children; CAD; CAE.

1. **INTRODUCCIÓN**

Para la Ingeniería, uno de los fundamentos imprescindibles en la realización de la investigación aplicada han sido los temas relacionados con el bienestar del ser humano. El uso de tecnologías permite por medio de la invención de diferentes dispositivos, controlar variables que afectan la salud del paciente. Una combinación de las ciencias de la ingeniería con las ciencias de la salud permite a esta especialidad ayudar y servir como herramienta para que la medicina alcance mayor efectividad y calidad.

En este sentido, es necesario mencionar los beneficios en la atención a la Parálisis cerebral infantil (PCI). La PCI es un problema de salud pública a nivel mundial, siendo la principal causa de la discapacidad infantil. La incidencia mundial ha permanecido estable durante los últimos años, presentándose alrededor de 2 a 2,5 casos por cada 1,000 nacidos vivos (Calzada, 2014).

Se trata de un trastorno motor no progresivo que debuta precozmente en el recién nacido y afecta a una o más extremidades, con espasticidad o parálisis muscular. La PCI tiene una incidencia directa en el desarrollo de la displasia de cadera, siendo esta la segunda deformidad músculo-esquelética más importante en estos pacientes (Matínez-Guerra, 2018). Este trastorno sucede en Cuba aproximadamente en dos infantes por cada mil nacidos vivos (Castellanos, 2007).

La realización temprana de un programa de bipedestación en abducción usado de forma diaria durante 4 años en los niños con PCI diplejía espástica con un nivel III ayuda a mantener el rango de movimiento y la flexibilidad de los músculos aductores (Macias, 2016).

En este artículo se presenta como problemática la ausencia en el campo de la medicina en nuestro país, de un modelo viable, económico y con capacidad adaptable a la situación actual de Bipedestadores infantiles para niños que presentan Diplejía Espástica. El alcance del artículo es ilustrar una metodología aplicada al diseño de productos mecatrónicos en particular a los Bipedestadores infantiles utilizando herramientas CAD/CAE.

1. **ANTECEDENTES**

Los Bipedestadores infantiles dan la posibilidad de poner de pie a niños con bajo tono muscular. Psicológicamente, el estar de pie puede estimular la actividad cognoscitiva, animar la comunicación y mejorar la socialización, a evitar el desarrollo de úlceras, facilita la digestión y mejora la circulación, fortalece la musculatura, y previene la osteoporosis (OrtoWeb, 2019).

La Bipedestación en abducción es una de las posturas generalizadas que adoptan los Bipedestadores, ha sido demostrado estadísticamente los beneficios particulares que se obtienen a través de este método de rehabilitación, como la prevención de las displasias de cadera (Macias, 2016)

Una de las características fundamentales de un Bipedestador está dada por el grado de personalización en la concepción del diseño, edad de los pacientes hacia los cuales está destinado el dispositivo, características antropomórficas, eficiencia estructural, atractivo del diseño, parámetro a considerar dado que los casos de estudios en cuestión son destinados a niños hasta nueve años.

Los Bipedestadores verticales *Standy* 3 y 4 fabricados por Ormesa, certificados por la norma ISO 9001 y registrados por la FDA (EE.UU.) (ORMESA, 2019), es un producto con gran aceptación del cliente por su diseño elemental y de bajo costo respecto a otros dispositivos, pero no cuenta con un diseño funcional, que además de cumplir las exigencias ortopédicas requeridas, permita una mayor interacción y dinámica de entretenimiento con el paciente que en este caso es un niño y ha de estar un tiempo prolongado en el dispositivo.

Un producto innovador requiere de una combinación de disciplinas de la ingeniería mecánica, ingeniería eléctrica e ingeniería de control. La integración de varios dominios en el desarrollo dotan de un alto nivel de complejidad el desarrollo del producto mecatrónico (VDI, 2004).

1. **METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO MECATRÓNICO**

El desarrollo de la metodología constituye el núcleo del proceso de diseño, en la norma alemana del 2004 (VDI, 2004) define el proceder en tres etapas básicas de concepción de modelos basados en el diseño de sistemas (micro-cycle, macro-cycle, process modules) (VDI, 2004).

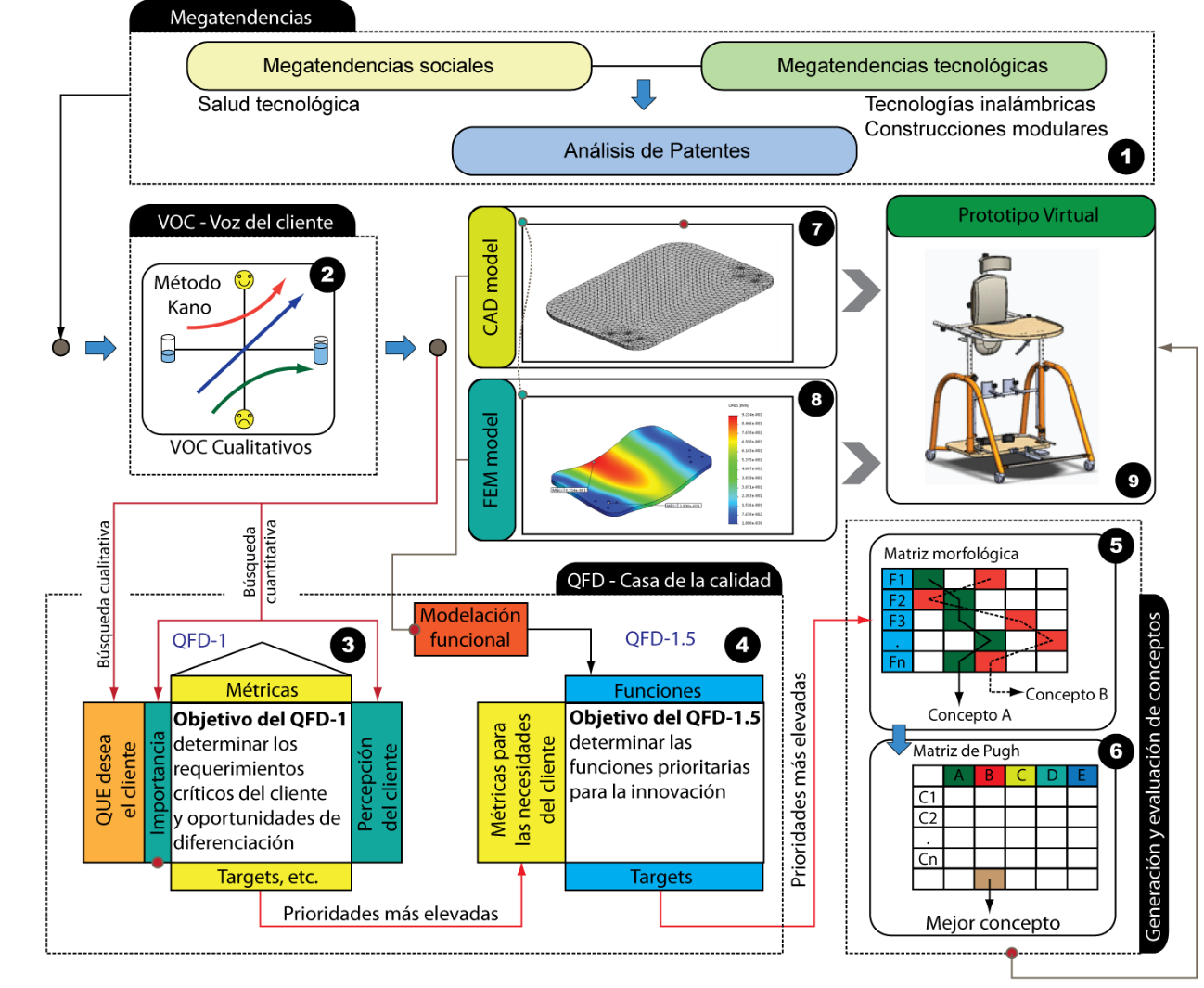
En el desarrollo de un modelo mecatrónico de un Bipedestador (Figura 1) ha de seguirse una estructura metodológica la cual no es generalizada y cada diseño cuenta con sus particularidades en la integración de las diferentes disciplinas que convergen en el diseño.

* 1. **Análisis de las megatendencias sociales y tecnológicas**

El primer paso (1) consiste en realizar un análisis utilizando la información que nos facilitan las Megatendencias Sociales, del Comportamiento del Consumidor y Tecnológicas para poder conceptualizar un producto o servicio; que a su vez nos permitirán identificar áreas de oportunidad para innovar en las propuestas que se realizan y al mismo tiempo enfocar esfuerzos para cumplir con las necesidades y lograr la satisfacción del cliente.

En este primer paso es necesario relacionar la idea (producto o servicio) con alguna o varias de las Megatendencias. Esta relación permitirá entender y ubicar las áreas de innovación que se puedan proponer en relación con el producto que se pretende desarrollar. Las Megatendencias Sociales y del Comportamiento del Consumidor permiten conocer la motivación, es decir el “¿por qué?” debe ser realizado el producto o servicio que se propone, y las Megatendencias Tecnológicas ofrecen respuesta a la pregunta “¿con qué? “, la cual se refiere al tipo de tecnología que se relaciona con la idea propuesta y que por lo tanto se deberá tomar en cuenta para su composición, función y construcción.

El segundo paso de la metodología (2) consiste en aplicar el método Kano (no es abordado en este artículo), que es una herramienta útil para la captura de los requerimientos de los usuarios y el grado de satisfacción. El método Kano sugiere la existencia de tres tipos diferentes de categorías de requerimientos funcionales, representados en un plano (Violante, 2017).



**Figura 1. Metodología utilizada en la investigación.**

El método Kano aporta una perspectiva diferente para el análisis en la mejora de productos y servicios, toma en consideración la asimetría y la relación no lineal entre la presentación y satisfacción. El modelo clasifica los requerimientos del cliente en tres categorías (Necesidades básicas, Necesidades de prestaciones, Necesidades de entusiasmo) (Tontini, 2007).

Otros dos tipos de necesidades pueden ser identificadas en el modelo, necesidades neutrales y reversas. La identificación de las necesidades básicas y las entusiastas están basadas en un cuestionario aplicado al cliente.

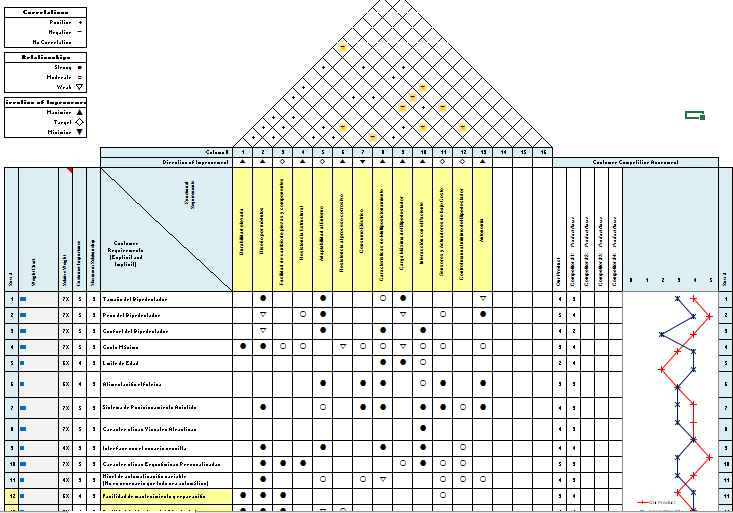
* 1. **Aplicación del método QFD**

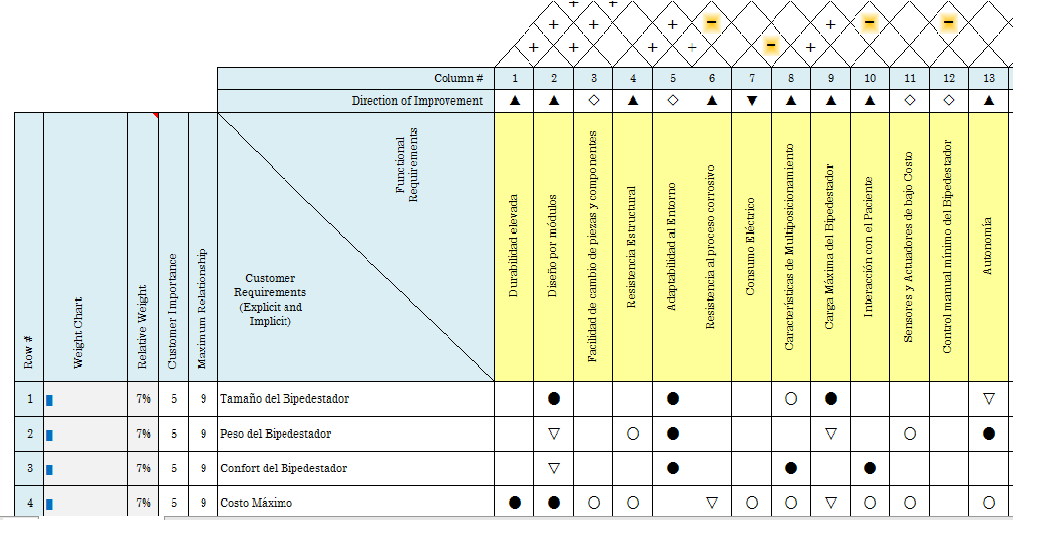
El QFD es un conjunto de matrices que permiten dirigir el pensamiento del equipo de diseño, hacia el aseguramiento de las necesidades del cliente en características técnicas del producto. En el QFD participan todas las voces de los actores que intervienen en el ciclo de vida del producto, se asegura una comunicación y un enfoque efectivo del cumplimiento de las necesidades del cliente en el producto.

En el tercer y cuarto paso (3), se aplica el método QFD. El QFD es una herramienta que permite analizar las necesidades del cliente y llevarlas al dominio del diseño mecánico, desde un enfoque orientado a la calidad. La variable primaria que se requiere para la construcción del QFD son las características técnicas, definidas como todas aquellas variables o parámetros cuantificables que describen técnicamente un producto.

Se identificaron como requerimientos funcionales principales, los siguientes: (a) Diseño por módulos; (b) Adaptabilidad al entorno; (c) Características de multi-posicionamiento; e (d) Interacción con el paciente.

En la fase I del QFD, se traducen las necesidades del cliente en requerimientos técnicos (también llamados “características de ingeniería”); para ello se utiliza una tabla que relaciona las necesidades del cliente con los requerimientos técnicos (Figura 2). Se identificaron como los principales requerimientos del cliente los siguientes: (a) Tamaño y peso del Bipedestador, (b) Costo; (c) Sistema de posicionamiento asistido; (d) Características ergonómicas personalizadas; y (e) Integración social.

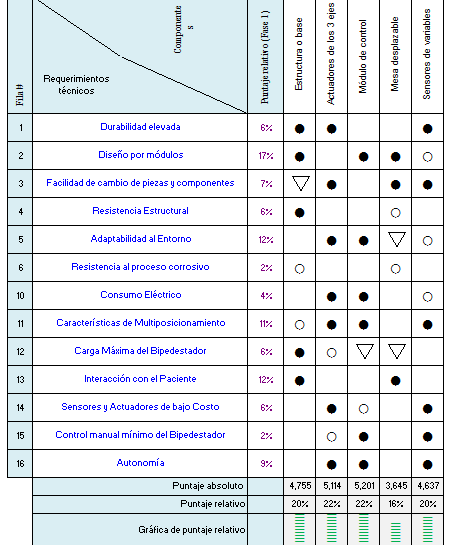




**Figura 2. QFD 1 para el Bipedestador.**

Se identificaron como requerimientos funcionales principales, los siguientes: (a) Diseño por módulos; (b) Adaptabilidad al entorno; (c) Características de multi-posicionamiento; e (d) Interacción con el paciente.

En la Figura 3 se muestra el QFD 1.5 para el Bipedestador. Se observa que los módulos identificados poseen una paridad en cuanto al nivel de importancia en relación con los requerimientos técnicos establecidos en el QFD 1.



**Figura 3. QFD 1.5 para el Bipedestador.**

* 1. **Modelación funcional del Bipedestador**

Las tareas técnicas se llevan a cabo con la ayuda de los denominados artefactos técnicos, que incluyen las plantas industriales, los equipamientos, las máquinas, ensambles y componentes. Existen diversos enfoques para el tratamiento de los artefactos técnicos, considerados como sistemas conectados con el entorno, que tienen entradas y salidas. Estos sistemas pueden ser descompuestos en subsistemas y poseen una determinada frontera que define su alcance. Utilizando este enfoque, cualquier sistema puede ser modelado en cualquier etapa de desarrollo. Como regla, cada sistema es parte de un sistema de mayor alcance.

Para una correcta descomposición funcional de un determinado producto, se sugieren los siguientes pasos:

1. Describir la función principal

2. Identificar las sub-funciones primarias

3. Identificar las sub-funciones auxiliares

4. Identificar las sub-funciones secundarias, terciarias, etc.

El nivel de descomposición funcional debe realizarse hasta que se considere que el producto está suficientemente descompuesto. Se utiliza de manera regular como forma de representación una caja negra (black box) que representa la función global, con las entradas y salidas (inputs y outputs). Luego se va descomponiendo por niveles según sea el caso, representando además los flujos de energía, materia e información que existen en la representación funcional.

Los sistemas mecatrónicos constan de un sistema básico, sensores, actuadores, y un procesador de la información, además de tenerse en cuenta la importancia del ambiente en el cual es operado el sistema mecatrónico. El sistema básico es generalmente mecánico, electromecánico, hidráulico, una estructura neumática o una combinación de estos. Generalmente cualquier sistema físico puede ser concebido como un sistema básico, esto es posible incluso para representar sistemas mecatrónicos estructurados jerárquicamente. En la Figura 4 se muestra la descomposición funcional primaria del Bipedestador.



**Figura 4. Descomposición funcional primaria del Bipedestador.**

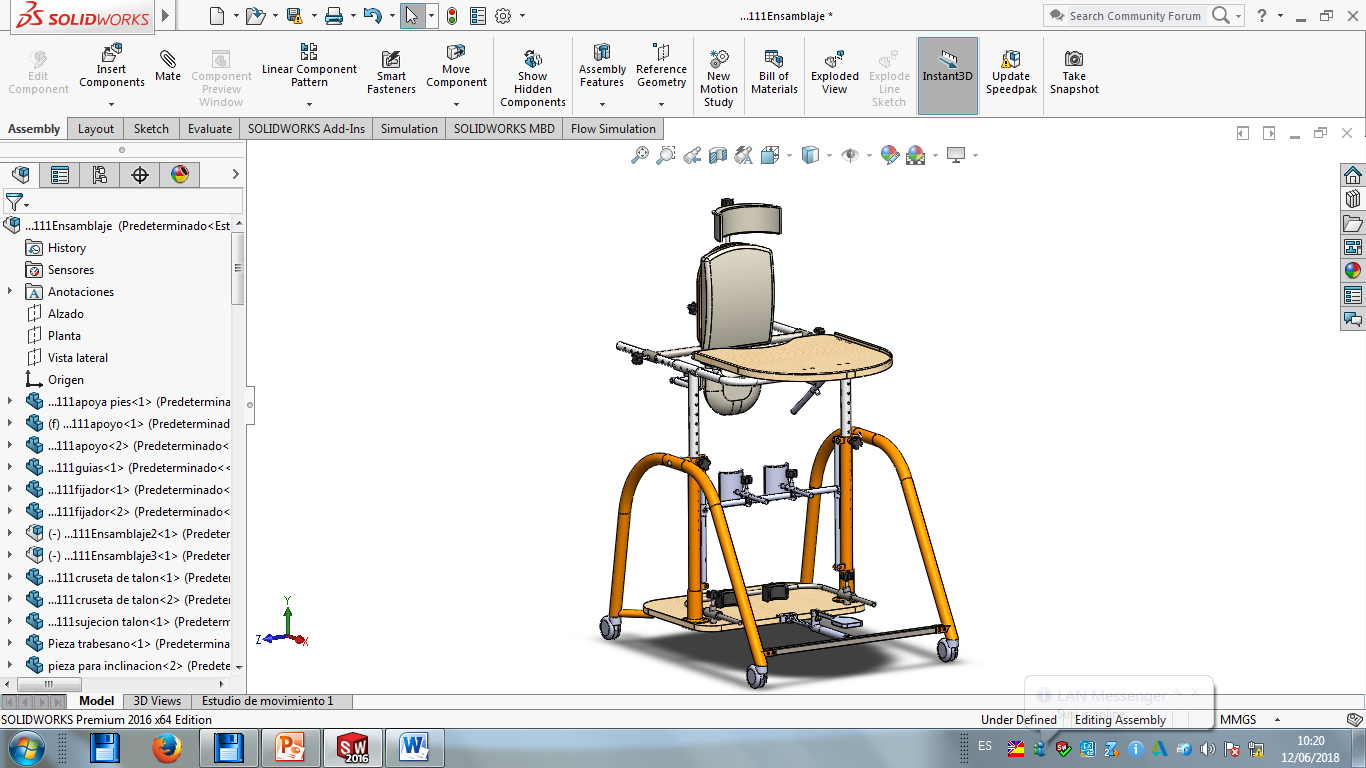
Flujo de Energía: Conexión de cualquier tipo de energía como mecánica, térmica o eléctrica, variables como fuerza o corriente.

Flujo de Información: Información que se intercambia entre las unidades del sistema mecatrónico, como variables de medición, pulsos de control o datos.

Flujo Material: Ejemplos de materiales los cuales el flujo entre unidades del sistema mecatrónico son cuerpos sólidos, objetos bajo tratamientos, líquidos o gases.

* 1. **Prototipo virtual del Bipedestador**

Se puede definir el prototipado virtual como una disciplina de ingeniería basada en un software, que supone modelar un sistema mecánico, simulando y visualizando sus movimientos en 3D bajo condiciones reales de comportamiento, y perfeccionar / optimizar el diseño a través de estudios de diseño iterativos, antes de construir el primer prototipo físico. En la Figura 5 se muestra el prototipo virtual del Bipedestador.



**Figura 5. Prototipo virtual del Bipedestador.**

1. **CONCLUSIONES**

Se desarrolló un método basado en el diseño paramétrico e implementado a través de herramientas CAD/CAE, que reduce considerablemente los costos de los proyectos y se demostró, mediante el estudio de caso, la efectividad del método propuesto para el diseño conceptual de un Bipedestador infantil.

# ReferencIAs BIBLIOGRÁFICAS

Calzada, C. V. (2014). Parálisis cerebral infantil: definición y clasificación a través de la historia. *Revista Mexicana de ortopedia pediátrica, 16*, 6-10.

Castellanos, R. (2007). Definición y clasificación de parálisis cerebral: ¿un problema ya resuelto? *Revista de Neurología, 45*(2), 110-117.

Cruz Ruiz JS, Tamayo Enriquez F. (s.d.). De la voz del cliente a la Lealtad del Cliente. *Asociación Latinoamericana del QFD*, 1-12.

Enrique Yacuzzy, Fernando Martín. (s.d.). QFD: CONCEPTOS, APLICACIONES Y NUEVOS DESARROLLOS. Universidad del CEMA.

Macias, L. (2016). Prevención de las displasias de cadera a través de los programas de bipedestación en abducción en niños con parálisis cerebral diplejía espástica. *Desenvolupa*, 1-15.

Marsot, J. (2004). QFD: a methodological tool for integration of ergonomics at the design stage. *ELSEVIER*, 1-8.

Matínez-Guerra, A. (2018). *Diseño de un Bipedestador.* Universidad de Holguín, Ingeniería Mecánica. Holguín: UHo.

ORMESA. (2019, 03 09). *Estabilizador Vertical Standy 3 y 4*. Tratto da ORMESA: www.ormesa.com

OrtoWeb. (2019, 03 09). *Bipedestadores*. Tratto da SL, OrtoWeb Medical: www.ortoweb.com

Tontini, G. (2007). Integrating the Kano model and QFD for designing new product. *Total Quality Management and Business Excellence, 18*(6 ), 599-612.

VDI. (2004). Design Methodology for Mechatronic System. *Norma VDI 2221*. Berlin, Germany: VDI.

Violante, M. V. (2017). Kano qualitative vs quantitative approaches: An assessment. *Computers in Industry*, 15-25.

**ACERCA DE LOS AUTORES**

**Carlos Enrique Ramírez**. Ingeniero Automático. Especialista A en asistencia técnica en la Empresa COPEXTEL. Cursista en la Maestría en Diseño y Manufactura Asistida por Computadoras (CAD/CAM) de la Universidad de Holguín.

**Rolando Esteban Simeón**. Ingeniero Mecánico, Doctor en Ciencias y Profesor Titular del Centro de Estudios de CAD/CAM de la Universidad de Holguín. Su labor investigativa está dirigida hacia los procesos de fabricación y sistemas CAD/CAM/CAE.

**Carlos Alberto Trinchet Varela**. Ingeniero Aeronáutico, Doctor en Ciencias y Profesor Titular del Centro de Estudios de CAD/CAM de la Universidad de Holguín. Su labor investigativa está dirigida hacia los procesos de mantenimiento y los sistemas CAD/CAE.

**Roberto Pérez-Rodríguez**. Ingeniero Mecánico, Doctor en Ciencias y Profesor Titular del Centro de Estudios de CAD/CAM de la Universidad de Holguín, miembro de la Academia de Ciencias de Cuba. Su labor investigativa está dirigida hacia los procesos de fabricación y sistemas CAD/CAM/CAE.

**Antonio José Martínez Guerra**. Ingeniero Mecánico. Investiga en los sistemas CAD y su aplicación industrial.