



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Diseño conceptual de un rehabilitador de extremidad superior para personas con trastornos de movimiento

\*Gudiño-Sánchez Jesús<sup>1</sup>, Rodríguez-Cañizo Ricardo Gustavo<sup>1</sup>, Merchán-Cruz Emmanuel Alejandro<sup>1</sup>, Niño-Suarez Paola Andrea<sup>1</sup>, Barrera-García Angel David<sup>1</sup>

1-Instituto Politécnico Nacional (IPN), Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI), Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME), Unidad Azcapotzalco, Av. de las Granjas No. 682, Col. Sta. Catarina, Del. Azcapotzalco, C.P. 02550, México D.F. Tel. 5729600 ext. 64501.

\*jesus.gudino@mail.polimi.it

jesus.gudino.s@gmail.com

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Azcapotzalco, Instituto Politécnico Nacional



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Diseño conceptual de un rehabilitador de extremidad superior para personas con trastornos de movimiento

### Resumen

Los trastornos del movimiento son cuadros neurológicos que expresan una disfunción en el circuito de los ganglios basales y pueden mostrarse en cualquier parte del cuerpo. Cuando un paciente es diagnosticado con este trastorno lo principal era suministrar un tratamiento farmacológico para controlar la enfermedad pero con el tiempo e investigaciones esto ha cambiado, con el diseño de diversas terapias que integran dispositivos especializados de rehabilitación y en menor medida los fármacos. Para el proyecto, se propone una interfaz mioeléctrica y una unidad de procesamiento digital que pueda identificar los movimientos voluntarios e involuntarios de la extremidad superior. La concepción del proyecto inicia con el modelo lineal de diseño, utilizando herramientas de diseño para cumplir con cada paso de este y, como resultado, se obtiene un sistema que cumpla con los requerimientos establecidos por los pacientes.

### Abstract

Movement disorders are neurological conditions that express a dysfunction in the basal ganglia circuit, and can appear on any part of the body. When a patient is diagnosed with this disorder the main thing was to provide drug treatment to control the disease, but over time and research, this has changed to design therapies that integrate various specialized rehabilitation devices and less drugs. For the project, a myoelectric interface and a digital processing unit that can identify voluntary and involuntary movements of the upper extremity are proposed. The concept of the project starts with the linear model of design, using design tools to accomplish each step of this and, as a result, a system that meets the requirements established by patients and doctors is obtained.

### Palabras clave



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Temblores, mioeléctrica, electromiografía, diseño conceptual, rehabilitador.

### Introducción

A lo largo de los siglos la medicina ha mejorado la calidad de vida de las personas, a través de diferentes tratamientos farmacológicos y tecnológicos. Sin embargo existen enfermedades como la Enfermedad de Parkinson (EP) que a pesar de todos estos avances no ha sido posible rehabilitar al paciente por completo.

Al igual que la EP existen otras enfermedades que comparten características similares, las cuales son clasificadas como trastornos de movimiento y tienen en común la manifestación de temblor involuntario en alguna parte del cuerpo, lo que limita la capacidad de las personas que las padecen a realizar sus actividades cotidianas.

Hoy en día se presentan diversas alternativas para el tratamiento de los trastornos del movimiento, como son los métodos quirúrgicos que presentan buenos resultados pero también un alto índice de pacientes con efectos secundarios adversos. Otra opción son los tratamientos farmacológicos los cuales apoyan a disminuir los síntomas, pero la afectación a otros órganos del cuerpo es considerable.

Actualmente, son escasos los dispositivos existentes para el diagnóstico adecuado de los trastornos de movimiento. Estos sistemas son necesarios para que los médicos evaluadores elijan un tratamiento adecuado al padecimiento. La detección correcta del tipo de temblor que presenta cada paciente ayudará a mejorar las terapias y tratamientos de recuperación.

Se estima que existen en México 500 mil personas afectadas solamente por la EP y 40 millones en todo el mundo, pero al ser un trastorno de carácter crónico y, según las proyecciones, se espera que en los próximos años su prevalencia se incremente casi al doble (Michelli, 2012).



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

En estudios realizados por Tomilson C. (2012) para rehabilitación, hubo una mejoría con la intervención con fisioterapia en todos los resultados de la caminata realizada por paciente con enfermedad de Parkinson. Los resultados de la movilidad y el equilibrio en pruebas cronometradas también mejoraron, demostrando las virtudes de la terapia.

En este trabajo se plantea utilizar un sistema portátil articulado, dotado de una interfaz mioeléctrica adecuada para detectar la actividad muscular y actuadores capaces de filtrar el temblor, todo esto montado en la extremidad superior del paciente.

La interfaz mioeléctrica tendrá como funciones principales mostrar el tipo de temblor que presenta el paciente y proporcionar una señal adecuada para el control de los actuadores.

El sistema articulado tendrá como función restringir los movimientos involuntarios presentes en la extremidad superior del paciente, mediante el uso de los actuadores que presentaran una acción opuesta al temblor, pero de la misma magnitud.

### Metodología

El modelo lineal del proceso de diseño, permite identificar las bases del diseño que son comúnmente aceptadas por la mayoría de los investigadores. Las fases que lo componen son: identificación de la necesidad, diseño conceptual, diseño preliminar, diseño detallado y diseño final o solución.

En este trabajo solo se desarrollan las primeras dos fases. Para la identificación de la necesidad se hace uso del QFD y para el diseño conceptual se aplican las matrices morfológicas.

El despliegue de la función de calidad o QFD, por sus siglas en inglés, es una técnica de planeación para lograr la mejora continua propiciando que los clientes se involucren en el proceso de desarrollo del producto o el servicio lo antes posible. El QFD se desarrolló en



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Japón en los años 60 en el Astillero Kobe; en los EE. UU., desde los 80's se está usando en empresas manufactureras como Hewlett- Packard y en organizaciones de servicio como St. Clair Hospital en Pittsburgh. De los principales objetivos del QFD destacan:

- Diseñar los procesos internos en respuesta a las necesidades de los clientes.
- Traducir lo que el cliente quiere en lo que organización produce.
- Permite priorizar las necesidades de los clientes.
- Encuentra respuestas innovadoras a esas necesidades.
- Mejorar procesos hasta una efectividad elevada.
- Establecer prácticas que conduce a la organización a sobrepasar las expectativas del cliente.

La operación del QFD está fundamentada en la interacción cliente-área de diseño, de la cual surge un listado de requerimientos que serán clasificados, ponderados y evaluados por ambas partes. Estos requerimientos ya procesados con el QFD darán las bases para el diseño conceptual.

En la segunda fase se buscan conceptos o principios de solución al problema, para la cual se analiza el problema identificado, se sintetiza una o varias posibles soluciones y se evalúan con respecto a restricciones o especificaciones impuestas en las matrices morfológicas. Una vez realizado el proceso restrictivo, si la solución aun consta de varias posibilidades, se procede aplicar una matriz de decisión o matriz de Pugh. Dicha matriz evalúa las posibles soluciones utilizando a una de ellas como referencia o pivote, donde los criterios de evaluación entre las mismas vendrán determinados tanto por el cliente como por el grupo de diseño.

Resultados



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Ahora, se comenzaran a aplicar las fases pertinentes del modelo lineal de diseño, comenzando con la identificación de la necesidad, para lo cual se enlistan y clasifican los requerimientos del cliente como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de los requerimientos del cliente

Requerimientos del cliente	
Obligatorios	Deseables
A1. Dispositivo de bajo costo	A2. Capacitación accesible
B1. Silencioso	B9. Interfaz mediante display gráfico
B2. Debe contar con baterías recargables	B10. Comunicación inalámbrica
B3. Capaz de adaptarse al paciente	C4. Adecuado para cualquier tipo de ropa
B4. Seguro para el paciente	D1. Diseño agradable a la vista
B5. Fácil de operar	
B6. Debe identificar el tipo de movimiento	
B7. Debe reprimir el temblor involuntario	
B8. Capaz de dar terapia pasiva y activa	
Requerimientos del cliente (continuación)	
Obligatorios	Deseables
C1. De tamaño moderado	
C2. Dispositivo de peso mínimo posible	
C3. Portátil	



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

E1. Refacciones de origen nacional	
E2. Que sea de fácil instalación	
F1. Materiales resistentes	
F2. Construcción modular	

En la clasificación anterior la letra A representa a los requerimientos económicos, la B a los funcionales, la C a los espaciales, la D los de apariencia, la E a los de instalación y la F a los de conservación. Estas distinciones se hacen con la finalidad de reconocer la naturaleza de cada uno de los requerimientos y así poder dar una futura solución adecuada.

Ahora, se deben ponderar los requerimientos deseables según su relevancia. Esta tarea se debe realizar entre el cliente y el área de diseño, ya que el cliente será el único capaz de asignar el orden de importancia a los requerimientos por él propuestos, quedando en el siguiente orden, comenzando con el de mayor interés:

- B9. Interfaz mediante display gráfico.
- D1. Diseño agradable a la vista.
- A2. Capacitación accesible.
- B10. Comunicación inalámbrica
- C4. Adecuado para cualquier tipo de ropa.

La importancia de esta valoración radica en su uso posterior, ya que existe la posibilidad que el diseño permita cumplir uno o varios de estos requisitos, por lo que haciendo esto se conocerá en qué orden deben ser atendidos.

Cabe mencionar que antes de realizar la generación de conceptos, se debe hacer la traducción a términos mensurables de cada uno de los requerimientos, esto porque el cliente los proporciona en un lenguaje común que al área de diseño no le sirve ya que no son términos técnicos ocupados en ingeniería.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Tabla 2. Generación de conceptos

Funciones	Conceptos		
	A	B	C
Limitar temblor en la muñeca	Actuador eléctrico lineal	Actuador neumático lineal	Actuador hidráulico lineal
Limitar temblor en el codo	Actuador eléctrico rotativo	Actuador neumático rotativo	Actuador hidráulico rotativo
Identificar actividad muscular	Electrodos superficiales	Electrodos invasivos	Electrodos superficiales
Procesar señales mioeléctricas	Microcontrolador	Electrónica analógica	DSP
Seleccionar la terapia	Botones	Touch Pad	Perilla de selección
Sujetar el dispositivo al paciente	A presión mediante un sistema dentado	Contactel	A presión mediante un sistema roscado
Interrumpir en caso de emergencia	Botón de paro	Sistema de desconexión rápida	Orientación de la extremidad
Contener circuitos y baterías	Chaleco porta elementos	Cinturón porta elementos	Cavidad incluida en el rehabilitador
Realizar movimientos de terapia	Actuador eléctrico	Actuador neumático	Actuador hidráulico
Programar terapias	Utilizando la interfaz	Computadora	Programación



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

	del dispositivo		gestual
Verificar posición actual de la extremidad	Giroscopios	Resistencias variables	Sistema óptico

Dentro de la segunda etapa del proceso lineal de diseño, ya en la generación de conceptos, se realiza una lluvia de ideas, como lo muestra la Tabla 2, la cual servirá para proponer los conceptos que llevaran a cabo las funciones del rehabilitador y sus diversos componentes. Posteriormente son sometidos dichos conceptos a cuatro filtros con el fin de llegar a un ganador que dará las directrices que deberá seguir en desarrollo de ingeniería.

Con el resultado de la generación de conceptos, se procede a la aplicación de los filtros anteriormente mencionados y los cuales se son descritos en la Tabla 3. Tabla 3. Filtros para la evaluación de conceptos.

Filtro	Descripción
Factibilidad	En esta evaluación, los puntos a analizar son la experiencia, conocimientos y sentido común que se tenga para los conceptos
Disponibilidad tecnológica	Verifica la accesibilidad a la tecnología propuesta, el desarrollo de la misma y las posibilidades de utilizarla.
Requerimientos del cliente	Aquí cada concepto se evalúa comparándolo con los requerimientos, aquellos que no superen este filtro pueden



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

	ser descartados o si es posible mejorados o reestructurados.
Matriz de decisión	En esta fase, se comparan los conceptos entre sí, para determinar cuál es el mejor, utilizando uno de ellos como referencia.

Como resultado de la aplicación de los filtros, surge el concepto ganador, que en este caso es el concepto A. Cabe mencionar que debido a las limitaciones dimensionales de este trabajo, no se menciona a detalle el proceso de filtrado de los conceptos ni los criterios específicos utilizados en esta tarea.

A partir del concepto ganador se propone una descripción gráfica del mismo, como lo muestra la Figura 1, mediante la creación de un modelo tridimensional, el cual será de gran utilidad como referencia creativa para las futuras etapas de desarrollo de ingeniería. También tendrá relevancia en la evaluación del cliente, ya que a partir de aquí pueden surgir nuevas ideas o inquietudes del mismo.

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”  
Multidisciplinario  
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
ISBN: 978-607-95635

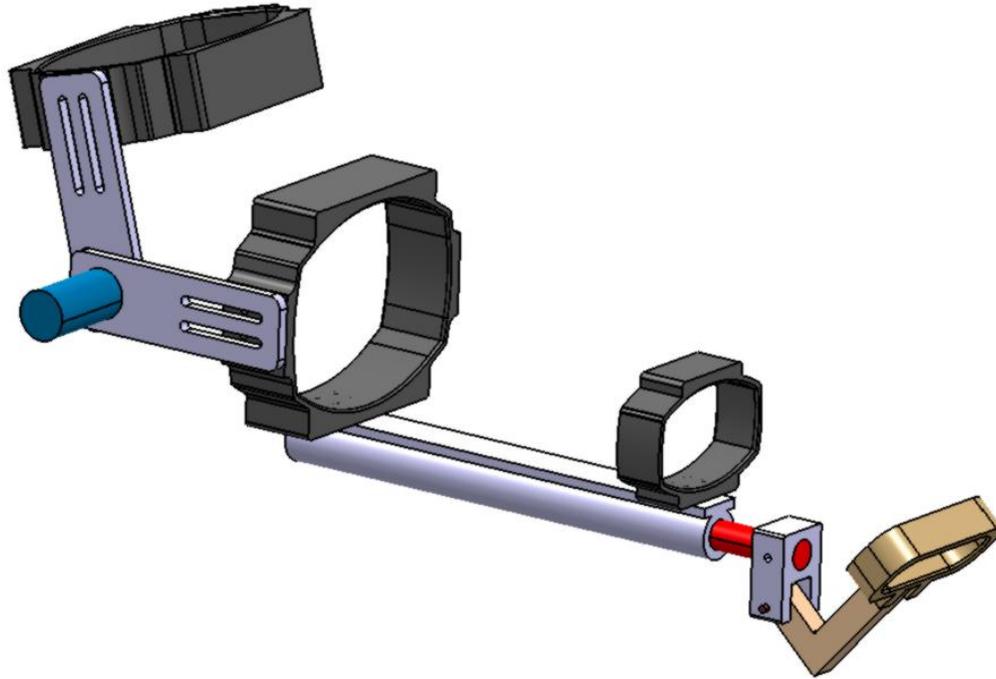


Figura 1. Concepto Ganador

### Conclusiones

En el tratamiento de rehabilitación en pacientes con trastornos de movimiento, es fundamental la capacidad de adaptación de los dispositivos empleados, ya que cada humano es diferente. Es importante destacar que la solución presentada cumple con los requerimientos planteados por pacientes que radican en el Valle de México y por lo tanto, no se sabe si puede ser empleado por personas de otras regiones del mismo país o incluso de otros, teniendo para esto que considerar una muestra de personas acorde al alcance que se pretenda tener.



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Por otra parte, la aplicación de una metodología en las tareas de diseño en ingeniería es fundamental en su fase creativa, ya que ayuda a considerar todas las posibles soluciones y da la pauta para seleccionar la adecuada. De acuerdo con esto, se debe mencionar que el QFD como herramienta es utilizado en este proyecto por las virtudes que de él surgen, sin embargo no es la única, lo que lleva a los diseñadores a tener que seleccionar adecuadamente sus herramientas en relación a la naturaleza del proyecto. Todo lo anterior con el fin de tener un orden y evitar, cuanto sea posible, futuros rediseños.

### Bibliografía

- Eureka, W., (1988) *The Customer-Driven Company. Managerial Perspectives on QFD.*
- González, M., (2000) *La función despliegue de la calidad.* México, Mc Graw Hill. Michigan, ASI Press.
- Michelli, F., (2012) *Movimientos anormales: clínica y terapéutica.* Editorial Médico Panamericana.
- Miles, D., (1970) *Análisis del valor.* Traducción de M. Martínez Franco. Bilbao, Deusto.
- Pugh, S., (1991) *Total Design. Integrated Methods for Successful Product Engineering.* Wokingham, Addison-Wesley.
- Tomlinson, C., (2012) *Physiotherapy versus placebo or no intervention in Parkinson's disease.* JohnWiley & Sons, Ltd.
- Clarke, C., (2007) *Parkinson's disease.* BMJ, pp 441-445.
- Jankovic J. & Lang AE., (2008) *Unusual movement disorders.* American Academy of Neurology.
- Moore, K. & Agur, A., (2003) *Fundamentos de anatomía: con orientación clínica.* Médica panamericana.
- Ferreira A. & Celeste W., (2008) *Human-machine interfaces based on EMG and EEG applied to robotic systems.* Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation.