

Plataforma electromecánica para cirugía de mano controlada por pedal

Jonathan **Martínez-Paredes**¹
Allan Ronier **Diez Barroso-Agraz**²
Sandra Denisse **Ontiveros-Paredes**³
Rosario **Olivares-García**²

¹Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Unidad Azcapotzalco, Col. Sta. Catarina, CP 02250,
México, D. F., México.
MÉXICO.

²Universidad Politécnica del Valle de México
Av Mexiquense s/n, esq Av Universidad Politécnica,
Villa Esmeralda, C.P. 54910 Tultitlán de Mariano
Escobedo, Estado de México.
MÉXICO.

³Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango,
Av. Tecnológico núm. 80, Col. 5 de Octubre.
Huauchinango, Puebla. C.P. 73173.
MÉXICO.

Teléfono³: (776) 762 5250

correo electrónico (email): jon6101@hotmail.com
ronier.diezb@gmail.com
dveroz25@gmail.com
rosario18og@gmail.com

Recibido 14-05-2014, aceptado 23-10-2014.

Resumen

La mano se ha convertido en un órgano indispensable en casi todos los aspectos de la vida, en este sentido debe suponerse que la incapacidad funcional, por menor que sea, puede tener repercusiones desastrosas en el quehacer diario. Cuando se está en presencia de una mano lesionada, deben realizarse procedimientos terapéuticos, que conlleven a la restauración funcional de la misma en forma rápida y segura. Por lo tanto para el manejo inicial de las lesiones es esencial un conocimiento anatomofuncional de ella, lo que servirá para realizar un buen

diagnóstico y de allí plantear en forma lógica y eficaz un plan terapéutico quirúrgico o no. Actualmente las cirugías de mano son realizadas con distintos instrumentos y equipo quirúrgico, la selección del tipo del mismo, depende tanto del criterio del médico como de la disponibilidad tecnológica en el hospital. Con el objeto de facilitar el proceso de cirugía de mano, se propone el diseño de una plataforma electromecánica con tres grados de libertad, un sistema ajustable a las posiciones requeridas en la cirugía y una cámara para documentación de la cirugía, cuenta con un control por medio de pedal para que el mismo cirujano ajuste la plataforma sin requerir ayuda de un asistente. Los beneficios de la implementación de este dispositivo es la disminución del personal colaborativo en la cirugía y minimizar los tiempos por ajuste de posición de la mano, mayor estabilidad en la posición requerida y la posibilidad de documentar el proceso quirúrgico.

Palabras clave: cirugía de mano, electromecánica, plataforma, control, grados de libertad, control por pedal.

Abstract (Electromechanic Platform for Hand Surgery Controlled by Pedal)

The hand has become an essential organ in almost every aspect of life, in this regard must be assumed that the functional disability, however small, can have a disastrous impact on the daily work. When you are in the presence of an injured hand, therapeutic procedures, which lead to the functional restoration of it quickly and safely be performed. Therefore for the initial management of injuries is essential anatomic knowledge of it, which will help to make a good diagnosis and there arise in a logical and effective surgical or therapeutic plan. Currently the hand surgeries are performed with different instruments and surgical equipment, it depends both on the discretion of the surgery and the technology available in the hospital. In order to facilitate the process of hand surgery, it is proposed to design an electromechanical platform with three degrees of freedom, an adjustable positions required in surgery and a camera system for documenting the surgery, it has a control a pedal for the same surgeon to adjust the platform without requiring an assistant. The benefits of the implementation of this device is decreased collaborative staff and minimize surgery time by adjusting hand position, greater stability in the required position and the ability to document the surgical procedure.

Key words: hand surgery, electromechanical, platform, control, degrees of freedom, control pedal.

1. Introducción

La mano se puede definir como un órgano prensil, resultado de un conjunto estructural muy complejo, con dinámica propia, que constituye un todo funcional, formada por una serie de elementos que han evolucionado en forma casi perfecta, convirtiéndose en una herramienta indispensable en los diferentes aspectos de la vida diaria. Se incluyen en ella todos los renglones de la producción, de allí la importancia de sus disfunciones [1]. Desde el punto de vista fisiológico, la mano representa la extremidad efectora del miembro superior que constituye un soporte logístico y le permite adoptar la posición más favorable para una acción determinada [2].

En México, se considera que la edad óptima laboral es entre los 18 y 65 años, no obstante la situación económica del país orilla a la gran cantidad de población a prestar sus servicios en labores no formales o en departamentos donde la exigencia física es mayor, es por ello que los riesgos de trabajo aumentan y los miembros que sufren más lesiones suelen ser las extremidades superiores y de entre estas lesiones las más comunes son en las manos.

Según un estudio realizado por la Secretaría Nacional de Salud, del total de accidentes que se presentan en manos el 59.44% es para tratar cirugías ambulatorias en mano y muñeca, en el año 2012, del total de pacientes que asistieron a cirugía de mano, el 81.98% fueron casos de cirugía ambulatoria para injertos de piel y desbridamientos [3].

No obstante, el área médica ahora no sólo trata de regresar la funcionalidad de la mano, ahora también se intenta maximizar la apariencia estética de la mano y particularmente hoy en día se hace una sinergia entre la recuperación de la función motriz de la mano así como la apariencia estética, por lo que se requiere un complejo grupo de especialistas que apoyen las patologías de la mano, este grupo consta de cirujanos plásticos, cirujanos generales, ortopedistas, cirujanos vasculares, rehabilitadores, entre otros.

Algunas de las técnicas utilizadas por los médicos en cirugías de mano son las siguientes [4]:

- *Osteosíntesis*. Es la reparación de los huesos fracturados por medio de implantes, como: placas y tornillos, para dar fijación y estabilidad; lo que ayuda a la curación del hueso.
- *Injertos*. La transferencia de piel, hueso, nervios y otros tejidos de una parte sana del cuerpo para reparar la parte dañada.

- *Cirugía de colgajos*. La movilización de piel con tejido subcutáneo, vasos sanguíneos y músculo o hueso de otra parte del cuerpo hasta el lugar que ha sufrido el traumatismo.

Para poder disponer al paciente en la posición quirúrgica adecuada, en cada intervención, es necesario una serie de accesorios especiales y la colaboración del personal de enfermería para colocación del paciente y así minimizar el tiempo necesario en quirófano. Uno de los accesorios más importantes para este tipo de cirugía, es la mesa de mano, que sirve de apoyo para el brazo, pudiéndose regular su altura, inclinación y también orientación, con ayuda del personal de enfermería durante la intervención quirúrgica.

2. Estado del arte

A continuación se presentan algunas mesas quirúrgicas de mano que existen en el mercado, con la finalidad de visualizar las características que ofrecen estos productos.

La utilización de instrumentos quirúrgicos es valorada por el cirujano plástico, lo cual facilita la técnica quirúrgica. Uno de los dispositivos para sujeción de la mano durante la cirugía fue inventado por Geoffrey Fisk, bajo la influencia de Guy Pulvertaft y ha sido una de las más utilizadas, con ciertas modificaciones en la actualidad. La mesa quirúrgica de Strickland es el dispositivo más elaborado que incorpora retractor de piel y un sistema de drenaje [5]. Actualmente los dispositivos de fijación quirúrgica de la mano utilizan consumibles de un solo uso y una base reutilizable. Entre sus características se encuentra la versatilidad en la orientación de la mano y su posicionamiento espacial de los dedos y pulgar.

En la actualidad la mesa quirúrgica con menores limitaciones es la fabricada por Multilok [6], de entre sus características se destacan las siguientes:

- Amplia gama de componentes accesorios ofrece las opciones de configuración de múltiples cirujanos.
- Componentes preesterilizados desechables.
- Buen número de posiciones posibles.
- Los ajustes sencillos se pueden hacer en cualquier momento por la liberación de la única palanca de la leva de bloqueo.
- Componentes de fabricación en acero inoxidable.
- Pre-esterilizados superficie de la mesa y accesorios contruidos con plástico de alta calidad para uso individual.
- Acceso sin restricciones a las posiciones de operación.
- Accesorios para la colocación de falanges en posiciones específicas

3. Desarrollo

El *Quality Function Deployment* (QFD) se fundamenta en la búsqueda de las necesidades del usuario, teniendo en cuenta tanto las expresadas como las no expresadas, las cuales son convertidas a características de calidad (medibles), ayuda a desarrollar un diseño de calidad del producto final desarrollando de forma sistemática (en la matriz de la casa de calidad) las relaciones entre las exigencias o características primarias de calidad y las características técnicas de calidad, logrando así maximizar la satisfacción del cliente [7]. La metodología QFD traduce lo que el cliente quiere en lo que la organización produce. Le permite a una organización priorizar las necesidades de los clientes, encontrar respuestas innovativas a esas necesidades y mejorar procesos hasta una efectividad máxima. QFD es una práctica que conduce a mejoras del proceso que le permiten a una organización sobrepasar las expectativas del cliente según Stephen [8] [9].

Los requerimientos del cliente están clasificados para tener un mejor control y saber los ámbitos en los que repercuten cada uno de ellos, están de la siguiente manera [10]:

- Requerimientos económicos.
- Requerimientos funcionales.
- Requerimientos espaciales.
- Requerimientos de apariencia.
- Requerimientos de manufacturabilidad e instalación.
- Requerimientos de conservación.



Fig. 1. Mesa de cirugías Multilok.

Para establecer el diseño de la arquitectura del dispositivo se deben tomar diversas consideraciones:

1. La mano promedio del humano no pesa más de 800 gramos, pero considerando que el médico ejerce fuerza sobre la mano al operar en la cirugía, se han considerado motores que soporten hasta 2.5 kg.
2. Se añade en la parte inferior del mecanismo un respaldo que permite colocar el antebrazo del paciente, esto permite brindar mayor comodidad en cirugía.
3. En caso de fallo eléctrico del inmueble, se añade al dispositivo un sistema de suministro eléctrico de respaldo el cual le permite seguir operando por hasta 30 minutos.
4. La pieza que soporta al dedo pulgar es capaz de rotar, de esta manera puede ser ocupada la misma pieza para mano izquierda y mano derecha, el principal objetivo de esto es disminuir el número de piezas adicionales al mecanismo.
5. Los sujetadores de falange pueden desplazarse hasta 3.5 cm con el objeto de ajustarse a la medida de los dedos de cualquier paciente, además, permite ajustar la altura de los dedos mediante un tornillo que levanta la yema del dedo. El principal objetivo de esto es que no se cuente con un kit de elementos periféricos que generen más demora en el ajuste de la posición de la mano del paciente.
6. Se opta por fabricar la plataforma en plástico ABS y además dejar una especie de "barrenos" por todas las piezas, la finalidad de este barrenado es que puedan dejar caer fluidos corporales así como brindar oxigenación al tejido de la mano.

Para el caso del diseño definitivo de toda la plataforma encargada de sujetar la mano (mano, falanges y dedo pulgar) se consideran las estadísticas de aspectos biométricos en hombres y mujeres de entre 18 y 65 años, que es la edad considerada como laboral [11].

Para el caso del dimensionamiento de los soportes para falange no se toma en cuenta un promedio sino los valores máximos y mínimos encontrados en la investigación realizada por Bingvinat, O., Alamagía, A., Lizana, P. y Olave, E [12]; como resultado de las encuestas e investigación se definen los siguientes valores:

- a) Longitud de mano en hombres: 184.9 mm.
- b) Anchura de palma en hombres: 95.4 mm.
- c) Longitud mano en mujeres: 168.9 mm.
- d) Anchura de palma en mujeres: 81.2 mm.

- e) Longitud de falange pulgar, índice, medio anular y menor (respectivamente) en hombre: 72.5mm, 104.5 mm, 115 mm, 109.1 mm y 88.5.
- f) Longitud de falange pulgar, índice, medio anular y menor (respectivamente) en mujer: 62.6 mm, 90.7mm, 99.2 mm, 94.2mm y 75.8mm.

Con base en los datos mencionados se definen las dimensiones de cada una de las piezas que conforman la plataforma de sujeción de la mano:

- a) Longitud y anchura de palma: 185mm y 96 mm.
- b) Longitud de sujetador de pulgar: 72.5 mm
- c) Longitud sujetadores de falange en general 115 mm.

4. Conformación la plataforma electromecánica

El dispositivo estará compuesto por tres subsistemas principales, las dimensiones de cada mecanismo están fundamentadas en las magnitudes máximas del hombre así como las magnitudes mínimas de la mujer, esto con la finalidad de poder contar con una solución que se ajuste a los parámetros estadísticos.

Primer subsistema

El primer subsistema es el mecanismo encargado de sujetar la mano del paciente o lo que es conocido como "la plataforma", que está compuesta por el área que soporta el peso de la palma de la mano, la pieza que sujeta el dedo pulgar para brindar movilidad y el cirujano pueda ajustar la posición del dedo, esta pieza particularmente puede desprenderse de la plataforma y cambiar su posición, esto con motivo de que pueda ser ocupada para mano izquierda o derecha. Los últimos componentes que conforman esta plataforma son los sujetadores de falange, estas piezas cuentan en su extremo superior con un tornillo que permite ajustar la altura del dedo elevándolo desde la yema, además, cada sujetador de falange cuenta con 4.5 cm de carrera en su parte inferior, esto permite que se ajuste cada sujetador al largo exacto de cada uno de los dedos del paciente.

Esta plataforma contará además con una cámara inalámbrica sujeta a un soporte, este soporte cuenta con movilidad en 3 grados de libertad y la finalidad de incorporar la cámara es

Tabla 1. Anchura de mano y longitud de palma de mujer expresado en milímetros.

edades	Longitud mano		Ancho mano		Longitud derecha
	derecha	izquierda	derecha	izquierda	
18-19	166±25	169±10	81±13	82±17	92±8
20-24	166±32	173±10	78±10	77±9	95±8
25-29	171±5	171±5	81±18	80±19	92±8
30-34	170±11	168±10	82±17	80±18	96±10
35-39	172±6	172±7	80±9	78±6	95±6
40-44	170±8	169±8	80±7	79±7	97±4
45-49	165±10	166±10	78±9	78±8	95±6
50-54	169±11	171±10	80±7	80±7	98±19
55-59	166±11	166±11	78±8	77±8	90±11
60-64	158±7	160±10	76±7	74±7	83±12
65-69	171±8	172±9	76±5	77±8	96±8

Tabla 2. Anchura de mano y longitud de palma de hombre expresado en milímetros.

edades	Longitud mano		Ancho mano		Longitud derecha
	derecha	izquierda	derecha	izquierda	
18-19	182±10	183±10	95±19	94±19	102±8
20-24	186±9	188±11	92±19	91±19	105±7
25-29	188±10	188±10	92±21	90±21	105±8
30-34	183±12	186±12	89±10	89±9	104±9
35-39	184±8	183±9	97±13	96±14	101±8
40-44	184±15	184±15	89±10	88±8	106±15
45-49	183±12	184±6	91±8	89±6	106±11
50-54	186±13	186±13	90±8	89±9	109±18
55-59	187±16	187±20	92±13	91±13	106±9
60-64	186±12	187±12	87±4	87±4	113±25

poder brindarle al médico la capacidad de filmar la cirugía, esto con fines académicos o de investigación futuros, además, funciona como un elemento que brinda visibilidad en puntos donde el médico no alcanza a observar a detalle.

Segundo subsistema

El segundo subsistema está compuesto por el mecanismo de posicionamiento y será el encargado de mover en 3 grados de libertad (supinación/pronación, flexión/extensión y abducción/aducción) a la base que sujeta la mano del paciente, este mecanismo obtendrá su fuerza motriz por 2 servomotores y un mo-

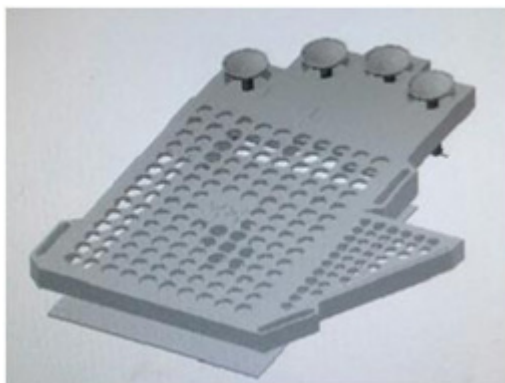


Fig. 2. Primer subsistema.

tor de 200 pasos (encargado de soportar el mayor peso de la plataforma), estos 3 motores se situarán en una base fabricada de acero grado quirúrgico y en la parte más baja de esta base se encontrará el sistema de control compuesto por un PIC16F84A.

Tercer subsistema

El tercer y más complejo subsistema es el mecanismo comprendido por el pedal de manipulación, este pedal es el encargado de transmitir los movimientos del pie del médico hacia la plataforma de cirugía o sujeción de mano, este pedal permite manipular 3 grados de libertad y la transmisión del movimien-



Fig. 3. Segundo subsistema.

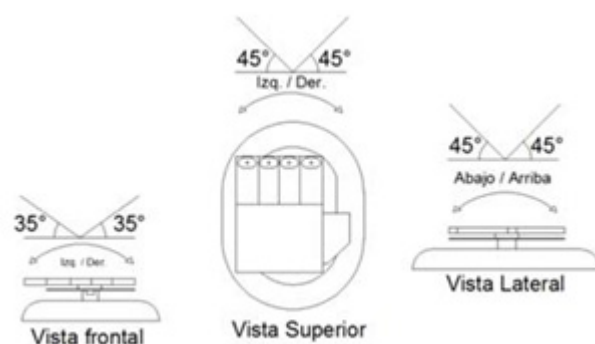


Fig. 4. Grados de libertad del segundo subsistema.

to se hace mediante encoders que envían la señal de posicionamiento al microcontrolador PIC16F84A para posteriormente replicar la señal en los motores de la plataforma. Este pedal además cuenta con un *brake* el cual se ha designado como sistema de seguridad y no permite que se avance más en los movimientos si este botón vuelve a ser presionado.

Como un segundo sistema de seguridad se ha añadido sensores de límite, de esta manera se restringen movimientos y la electrónica restringe envío de señales.

La comunicación entre el pedal y la plataforma se realizará vía cable de datos categoría E5 con el fin de contar con 1 sola línea de comunicación capaz de comunicar varios hilos conectores.

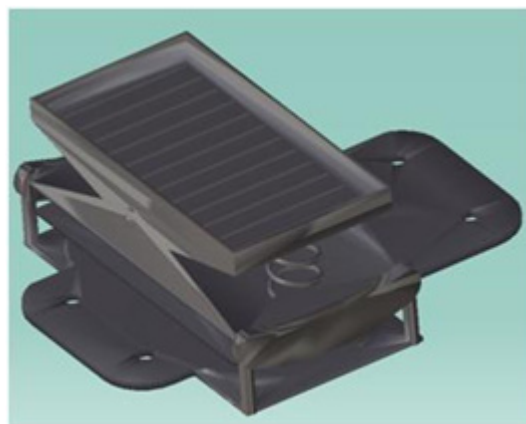


Fig. 5. Configuración del pedal.



Fig. 6. Sistema de seguridad con sensores de límite.

En la Figura 8 se muestra la versión final del dispositivo maestro-esclavo de la plataforma electromecánica para cirugía de mano controlada por pedal.

5. Etapa de control

Se hará un análisis por medio de las funciones que el sistema debe satisfacer y el nivel en el que se debe plantear el problema, independientemente de los componentes físicos que pudieran utilizarse. El nivel se decide estableciendo "límites" alrededor de un subconjunto coherente de funciones. Se trata de los límites conceptuales que se emplean para definir la función del producto o del dispositivo. La manera más sencilla de expresar esto consiste en representar al prototipo como una caja negra que convierte ciertas entradas en salidas deseadas.

De esta figura podemos obtener funciones secundarias, las que se descomponen de la función principal y la satisfacen,



Fig. 7. Dispositivos en comunicación.

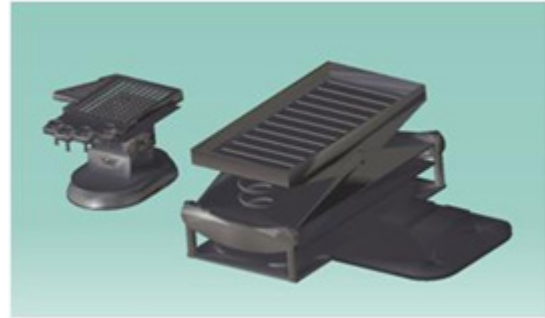


Fig. 8. Dispositivos maestro-esclavo.

es decir, las funciones secundarias en conjunto cumplen la función general del sistema. A continuación se muestra el diagrama de bloques (véase figura 10) con las funciones secundarias, que hacen ver la relación funcional entre dichas funciones y la construcción propuesta para el prototipo.

6. Conclusiones

A través de la utilización del *Quality Function Deployment* (QFD) se llegó a un concepto ganador en el cual se basa el desarrollo de los demás etapas del proyecto: *se realizará la integración de tres mecanismos que al final comprenderán el sistema quirúrgico final*. Los materiales de fabricación de toda la máquina serán acero grado quirúrgico y plástico ABS.

Referencias

- [1] Hurtado, M., Iglesias, J., León, V., Llanos, S. y Martín, E. *Dinámica Funcional del la mano*, pp. 4.
- [2] Kapandji, A.I. *Fisiología articular*, 6a ed., Tomo 1, Editorial Panamericana, pp. 198-200, 2006.



Fig. 9. Diagrama de la caja negra.

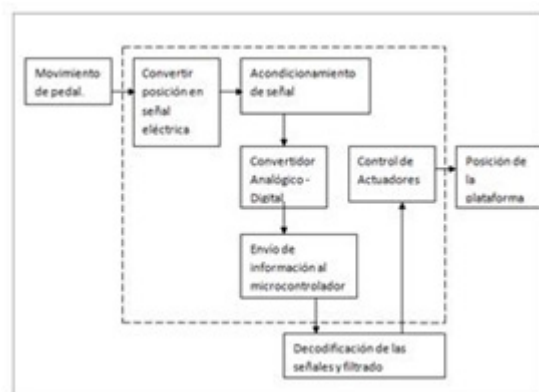


Fig. 10. Diagrama de la caja negra.

- [3] Estadística de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, Ministerio de Trabajo e Inmigración. Indicadores clave del Sistema Nacional de Salud. Instituto de información Sanitaria.
- [4] Forriol Campos, F. *Manual de cirugía ortopédica y traumatológica*, 2ª ed., Sociedad Española de Traumatología, Editorial Médica Panamericana. pp. 695-750, 2000.
- [5] Green, D.P, Pederson, W.C, Hotchkiss R.N y Wolf, S.W. *Cirugía de la Mano*, 5a ed., Tomo 1, Editorial Marbán, 2007.
- [6] Gabir Tari, Laszlo Hari. *Hand Surgery Operating Table*, US 4858903.
- [7] Olaya, E.S., Cortes, C.J. y Duarte, O.G. "Despliegue de Función de Calidad (QFD) apoyado mediante técnicas difusas: Caso prótesis mioeléctrica de mano", *Revista Ingeniería e Investigación*, Vol.25, No.2, 2005, pp. 4-14.
- [8] Stephen Uselac, Zen. *Leadership: The Human Side of Total Quality Team Management*, Londonville, OH. Mohican Publishing Company, pp.52, 1993.
- [9] González Espinosa, Marvin, *La Función despliegue de la calidad*", McGraw-Hill, 2001.
- [10] Lou Cohen, *Quality Function Deployment*, Prentice Hall, 1995.
- [11] Ávila Chaurand, R., Prado León, L.R. y González Muñoz, E.L. *Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana*, Universidad de Guadalajara, pp. 67-101, 2001.
- [12] Bingvinat, O. , Alamagía, A. , Lizana, P. y Olave, E. "Aspectos biométricos de la mano de individuos chilenos" *Int. J. Morphol.*, Vol.30, No.2, pp. 599-606, 2012.

Latindex

Portal de portales

www.latindex.org