

1. DATOS GENERALES DEL PROYECTO

<b>Código:</b>	CIDII-080213
<b>Centro de Investigación:</b>	CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN EN INGENIERÍA
<b>Programa:</b>	Tecnologías de Inclusión
<b>Título del Proyecto:</b>	DISEÑO CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE PRÓTESIS BIOMECÁNICA DE MANO DERECHA. (segunda fase)
<b>Grupo de Investigación:</b>	Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica
<b>Area de Conocimiento:</b>	Ciencia y Tecnología
<b>Línea de Investigación:</b>	Tecnologías de inclusión
<b>Tipo de Investigación:</b>	Aplicada Desarrollo
<b>Campo :</b>	Tecnologías
<b>Investigador Principal :</b>	PATRICIO FERNANDO URGILES ORTIZ
<b>Proyectos Vinculados :</b>	DISEÑO CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE PRÓTESIS BIOMECÁNICA DE MANO DERECHA.
<b>Duración del Proyecto :</b>	12 Meses
<b>Localización del Proyecto :</b>	Cuenca Ecuador
<b>Fecha de ingreso :</b>	02/10/2013 20:50

## 2. ANTECEDENTES

En la convocatoria interna de la UPS del año 2012 se presentó el proyecto DISEÑO CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE PRÓTESIS BIOMECÁNICA DE MANO DERECHA, el proyecto en mención de tipo multidisciplinario en donde trabajaron docentes y estudiantes de las carreras de Ingeniería electrónica e Ingeniería mecánica, ha tenido un desarrollo satisfactorio ya que se llegaron a cumplir todas las etapas planificadas. Durante el desarrollo del prototipo se identificaron una serie de mejoras que se pueden realizar sobre el mismo y además luego de las pruebas con el usuario final se tendrán una serie de condiciones que son sujetas de mejoras para alcanzar la independencia total, ergonomía, movilidad, apariencia y estética de acuerdo a las condiciones de confort establecidas para la prótesis.

El proyecto fue planificado para en una primera etapa construir 2 prótesis de las cuales la una sería donada al usuario con el que se trabajo el proyecto y la segunda se quedaría en la Universidad para continuar con el desarrollo de los mecanismos, sistemas de control, uso de materiales y otros elementos.

## 3. JUSTIFICACIÓN

La primera etapa del prototipo fue trabajada por un equipo multidisciplinario alcanzando los objetivos planteados, pero como en todo proceso de investigación durante el desarrollo se generaron muchas inquietudes y posibilidades que requieren de continuar con el estudio, entre las más relevantes se encuentran:

- Mejora del sistema de control y manejo de señales
- Mejora en la forma antropométrica de los elementos de la mano
- Incorporación de un mecanismo a nivel de muñeca para dotarle a la mano de movimiento de rotación.
- Mejora del mecanismo de movimiento de los dedos para evitar daño de los elementos
- Mejora en la forma del socket para garantizar ergonomía.

Con lo antes planteado es necesario continuar con el proyecto, además existe la disponibilidad del cuerpo docente involucrado en el mismo y se trabajara con la integración de estudiantes de las carreras de Ingeniería electrónica e Ingeniería mecánica como tesis para continuar con los avances propuestos.

Cabe destacar que el prototipo en esta segunda fase iniciara un proceso de búsqueda de patente y será sometido a los arbitrajes correspondientes para el efecto.

En lo referente al apoyo social que se puede brindar a personas con discapacidad es de gran impacto y tiende a mejorar la calidad de vida de personas que presentan amputación total de mano.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo General

Mejorar el diseño, los mecanismos, el sistema de control y el uso de los materiales de la prótesis Biomecánica de Mano derecha ejecutada en primera fase, garantizando su utilidad mediante integración y pruebas con el usuario de la misma

### 4.2 Objetivos Especificos

- 1 Ejecutar la mejora de la forma antropométrica de la mano mediante la integración y utilización de nuevas formas y materiales, utilizando procesos de construcción que permitan la versatilidad requerida.
- 2 Diseñar, construir, integrar y monitorear un sistema en la muñeca de la prótesis para conseguir el movimiento giratorio de la mano.
- 3 Utilizar nuevas propuesta en el manejo de las señales y los sistemas de control de los elementos de la mano.
- 4 Mejorar la integración del socket para garantizar estética y ergonomía en la protesis

## 5. ESTADO DEL ARTE

En los recientes años los avances en la biomecánica humana han permitido fabricar prótesis de mano con un alto desempeño en simulación de movimientos y con gran apariencia natural, siendo capaces de recibir señales desde músculos de extremidades hasta señales propias del cerebro del humano; sin embargo, los costos de estas prótesis son elevados e inalcanzables, por lo que se opta en utilizar prótesis estéticas, prótesis mecánicas o definitivamente aceptar la amputación y no utilizar ningún medio prostético; es por ello que en este capítulo se trata de la construcción de la prótesis de mano, teniendo en cuenta los factores mencionados.

Para el diseño y construcción de la prótesis de mano se involucran varias áreas de la ingeniería mecánica y electrónica como: diseño de mecanismos y prototipo, mecanizado de partes, diseño del control, programación del control que conjuntamente con el interfaz entre el hombre y máquina se obtendrá la prótesis de mano.

En lo que se refiere a la construcción del prototipo se habla de cómo se realizó el proceso de construcción del

mismo, teniendo en cuenta procesos de mecanizado, diseño y sistemas de control; que se ejecutan para llegar a obtener el prototipo final.

Otra parte de gran importancia es la construcción del socket, ya que el usuario coloca el miembro amputado en el mismo para comandar la prótesis; es por ello que se explica cuáles son los parámetros que se toman en cuenta para la construcción del mismo.

También se presentan las pruebas y ajustes que se realizan al paciente que utilizara la prótesis, que consisten en la toma de señales y la adecuación del socket en el miembro amputado, cuya finalidad tiene brindar comodidad y maniobrabilidad al paciente siendo factores indispensables para la validación del prototipo.

Finalmente la prótesis terminada e implementada ayudara a proporcionar algunos movimientos básicos que realiza la mano del ser humano como; agarre de cilindro, pinza, lateral, gancho; pero jamás remplazar el miembro faltante del cuerpo del usuario que se perdió por diferentes situaciones; uno de los objetivos de la construcción de la misma es mejorar la calidad de vida del usuario.

### 3.2 Análisis del sistema mecánico

En este capítulo se aborda todos los diseños preliminares, tanto mecánicos como electrónicos, indicando paso a paso la evolución que han tenido, hasta llegar al prototipo final, teniendo en cuenta en la parte mecánica que todos los diseños realizados se basan en la particularidad de tener un grado de libertad, es decir comandados con un solo motor independientemente del que se utilice, además de no perder en ninguno de ellos el diseño antropométrico, que se ajuste en forma, dimensiones y tamaño a la mano humana, de la misma manera en la parte electrónica, ningún elemento electrónico debe ser invasivo con el usuario, y además todos los elementos electrónicos tienen que estar integrados dentro del prototipo, para que de esta manera el prototipo final de la prótesis se ajuste directamente al usuario y sea utilizada.

#### Diseños preliminares.

El diseño de la prótesis empezó con diseños preliminares en donde se esperó cumplir con que todos los dedos tengan un grado de libertad, inicialmente se realizó un diseño donde el accionamiento del mecanismo se basó en tres falanges articuladas mediante un pasador, y en cuyo interior pasa un canal que nos permite producir el movimiento mediante un hilo nylon; para que el dedo regrese a su posición inicial se coloca resortes en la parte posterior de cada falange, sujetos mediante tachuelas, con el objetivo que estos recuperen la posición inicial luego de aplicar un esfuerzo en el dedo que provoque que se cierre respecto a la palma; y finalmente se utiliza una base rectangular para sujetar al dedo. Para la construcción de este diseño se utiliza materiales alternativos de prueba como madera MDF, en este diseño los inconvenientes que se presentaron estuvieron en la integración de los resortes ya que resultaban muy riesgosos en actividades repetitivas.

Se puede observar el dedo armado; con las tres falanges, su base, los pasadores, y los resortes sujetos mediante tachuelas.

Al identificar los inconvenientes, se realiza mejoras en el diseño modificando inicialmente la forma y dimensiones del dedo, además de la forma de los resortes, utilizando resortes de torsión que a la vez son los ejes que unen las falanges, cuyo objetivo es mejorar la apariencia visual del dedo, en la construcción, se utiliza la madera de igual manera, armando cada parte. Los inconvenientes presentados en este diseño están en la colocación de los resortes para unir cada falange.

Finalmente comprobado la funcionalidad del mecanismo del dedo con la construcción del mismo a pesar de los inconvenientes presentados, se realiza el diseño de una mano con 5 dedos; los mismos que presentan dimensiones de un hombre de estatura 1.70 m, como se puede observar en la siguiente figura

El proceso de fabricación se realiza mediante el centro de mecanizado CNC, y con la ayuda del Software MASTERCAM X3. Se encuentran todas las falanges construidas junto con la palma. Finalmente se realiza la unión de cada parte de las falanges y los canales por donde pasa el hilo nylon. En la construcción se tuvieron inconvenientes con el material ya que no resiste, por lo que se cambia de material, a acrílico.

La particularidad de este diseño es que tiene una apariencia antropométrica de la mano humana, en la palma se diseña unos canales en dirección perpendicular, cuyo objetivo es pasar el hilo nylon proveniente de los dedos, la cual proporciona el movimiento en cada articulación.

Finalmente se comprobó que el mecanismo funciona perfectamente, aunque presenta varios problemas; el material es muy frágil y al adaptar cada falange de cada dedo y este a la muñeca no se puede obtener un ensamble perfecto. La ubicación de los motores con este diseño no es posible ya que se dispone de un espacio reducido entre cada dedo, teniendo en cuenta que cada motor debe enrollar el nylon para producir el movimiento de los dedos, además que se tiene que diseñar el mecanismo para enrollar el nylon, por lo que el espacio es muy grande y no se dispone, generando que se descarte esta opción.

Otra alternativa para este diseño está en la utilización de un alambre muscular, pero esta opción se descarta por inconvenientes con los alambres musculares; ya que al momento que cesa el estímulo el tiempo de recuperación para que regrese a su posición inicial es muy grande y además consume mucha energía, teniendo en cuenta que se va a utilizar una batería.

Tras encontrar estas dificultades y además la integración mecánica-electrónica se dificulta por la forma del

diseño se descarta el mismo.

Diseño del prototipo final.

Tras analizar las dificultades en el diseño anterior y al complementarlo con el estudio del estado del arte en prótesis, se realiza un diseño basado en el análisis de eslabonamientos con un diseño muy similar a la prótesis desarrollada por la empresa I-limb y BEBIONIC, en este diseño selecciona servomotores lineales ya que estos poseen un solo punto de accionamiento, y además con la idea de tener un movimiento de oposición y no oposición en el pulgar.

Los primeros diseños del esquema final, constan de dos falanges; falange proximal y falange medial-distal, con un ángulo de 15° en la parte distal, un eslabón interno que produce el cierre del dedo, un nudillo metacarpiano que va unido a la palma; además cada uno posee un grado de libertad.

En la construcción de este diseño se elige un nuevo y definitivo material, la poliamida 6.6 cuyo nombre comercial es grilón; debido a la fragilidad que se nos presentó en el acrílico y además por su buena maquinabilidad, disponibilidad en el mercado, y las propiedades que nos brinda este material. Similarmente que en el caso anterior se realiza la construcción del diseño de un dedo para probar el mecanismo y definir si cumple con las expectativas deseadas. La construcción del mismo se observa en la siguiente figura, para lo cual se utiliza el centro de mecanizado CNC y el software mastercamx3.

Una vez comprobado la funcionalidad del mecanismo, con la fabricación del mismo, se realiza el diseño de todos los dedos junto con la palma en donde se colocan los dedos.

Seguidamente se diseña el mecanismo del dedo pulgar, considerando que este debe realizar oposición y no oposición, se presenta el diseño del dedo pulgar junto con su mecanismo que consta de una base y un pasador de eje, el mismo que permitía hacer oposición.

Comprobado la funcionalidad de este diseño con la construcción, se mejora el mismo y se diseña elementos que permiten un correcto acople de los servomotores con cada dedo, los servomotores elegidos para el funcionamiento de cada dedo son servomotores PQ12 de la empresa canadiense FIRGELLI, estos nos permiten independencia de movimientos de cada dedo. Al tener estos servomotores, se realiza diseños teniendo en cuenta principalmente la antropometría de la mano y de cada una de sus partes por lo que inicialmente se diseña el dedo con su respectiva unión entre el motor y el dedo, que nos permitirá producir el movimiento de los dedos, La particularidad de este diseño está en que consta de dos partes, por facilidad de mecanizado es decir con un plano de simetría, que posteriormente sus partes serán acopladas mediante tornillos.

Una vez comprobado la funcionalidad de los cuatro dedos acoplados, se comenzó a diseñar el mecanismo del dedo pulgar, el cual se situaría en la palma. Este diseño consta de un trinquete rotacional y un resorte alrededor de un eje, apoyado en dos bases laterales las mismas que son colocadas en la palma. Este mecanismo nos permite el movimiento en oposición y no oposición del dedo pulgar, el cual se lo realiza manualmente gracias al resorte que nos permite regresar a la posición inicial.

Finalmente se diseña el dedo pulgar que consta de un solo cuerpo, y de un grado de libertad, donde se aloja el respectivo actuador. El dedo pulgar se sujeta al trinquete ya diseñado, con el mismo criterio que en los anteriores se diseña simétricamente en dos partes para luego sujetarlas con tornillos acoplando al servomotor

Análisis del movimiento del dedo pulgar, para encontrar grados de libertad, velocidades y aceleraciones; para ello se realiza una simulación en Inventor.

Ensamble de dedo

Al tener los dedos diseñados, contruidos y validados, se diseña la palma la misma que debe contener a los dedos, motores y el circuito electrónico, recalando nuevamente que no debe perder la antropometría de la mano humana, en la siguiente figura se observa la palma final.

Finalmente se arma todas las partes ya construidas y para ello se utilizó tornillos y pasadores de bronce en las articulaciones, cuyo objetivo es garantizar la resistencia al desgaste y corrosión.

La etapa final de este diseño concluye, con la comprobación de la funcionalidad del mecanismo mediante la construcción de la misma y el diseño de un circuito piloto para poder probar los actuadores junto con el mecanismo, en la figura 1 se puede observar la mano funcionando.

Una vez comprobado la funcionalidad mediante la construcción y el circuito piloto, se diseñó la tapa que tiene como finalidad proteger a los motores y la tarjeta que controla la mano. La sujeción de la misma se lo realiza mediante tornillos a la palma.

Y por último se realizó un destaje en la palma que tiene como objetivo que pasen todos los cables procedentes de los actuadores al socket (Cuenca), también se realizaron los agujeros para la sujeción.

## 6. METODOLOGÍA

Para la continuación del proyecto se utilizarán metodología inductivas, deductivas con aplicación práctica, pues se partirá del análisis de la necesidad, luego se diseñarán los elementos, estos se someterán a las validaciones mediante los modelos matemáticos correspondientes y se construirán; finalmente se integrarán a la prótesis en estudio, se realizarán las pruebas correspondientes y las mejoras necesarias.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- <http://sites.google.com/site/anonymousspynet/cronologia>  
Cronología de los robots
- <http://www.diariocriticocv.com/noticias/not133599.htm#>  
Diariocritico de la comunidad Valenciana
- <http://www.elmundo.es/navegante/2004/11/18/entrevistas/1100776909.html>  
Kevin Warwick, El cyborg británico Mundinteractivos, S.A.
- <http://www.tuexperto.com/2008/06/30/mano-robotica-con-sentido-pre-tactil/>  
Mano robótica con sentido pre-táctil Wired Science
- [http://www.tendencias21.net/Desarrollan-una-mano-robotica-impulsada-por-aire-comprimido\\_a3247.html](http://www.tendencias21.net/Desarrollan-una-mano-robotica-impulsada-por-aire-comprimido_a3247.html)  
Desarrollan una mano robótica impulsada por aire comprimido.  
Tendencias Tecnológicas
- <http://www.tuexperto.com/2009/09/14/una-mano-robotica-de-alta-velocidadcon-una-destreza-increible/>  
Una mano robótica de alta velocidad con una destreza increíble Hizook.
- [www.pucp.edu.pe/congreso/cibim8/pdf/25/25-13.pdf](http://www.pucp.edu.pe/congreso/cibim8/pdf/25/25-13.pdf)

## 8. RESULTADOS ESPERADOS

En primer lugar se van a obtener documentos con los resultados del estudios, análisis, los planos del sistema, los circuitos y la integración de las mejoras propuestas en el prototipo existente

El resultado esperado de mayor relevancia es un prototipo con las mejoras integradas y con mayor eficiencia y eficacia que permita cumplir con los objetivos planteados y en especial que sea útil y que este integrado en las actividades diarias de las personas con discapacidad.

Se prevé en este proyecto realizar al menos dos publicaciones científicas ¿ papers, en revistas indexadas y una patente de la prótesis

## 9. TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA Y/O SOCIALIZACIÓN DE RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN

Para la transferencia de tecnología se pretende presentar el proyecto en las ferias nacionales que sean posibles y que estén relacionados a esta temática, además buscar a nivel internacional la calificación del proyecto para que sea presentado en convenciones internacionales y se pueda publicar en revista con índices de alto nivel como la IEEE.

## 10. IMPACTOS DEL PROYECTO

- El proyecto permitirá completar el trabajo iniciado en la primera fase y conseguir mejorar la eficiencia de la prótesis integrando lo propuesto para esta segunda fase
- El proyecto permitirá el trabajo multidisciplinario de las carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Eléctrica
- Los datos obtenidos apoyarán el desarrollo de la tesis de los estudiantes que se involucren el proyecto.
- El proyecto permitirá introducir en el mercado una prótesis funcional con costos accesibles muy inferiores a la de otros elementos similares.
- Se mejorara la calidad de vida del usuario de la prótesis y se garantizara la integración de la misma en sus actividades diarias.

## 11. INFORMACIÓN DE COFINANCIADORES (en caso de que existieran)

