

Diseño de una mio-prótesis infracondílea de miembro superior

*Ing. Edward Wilder Caro Anzola

Resumen

El escrito hace referencia al proyecto de investigación en ingeniería electrónica con aplicaciones en el tratamiento médico de traumatismos generados a partir de la pérdida de una extremidad. El diseño de una prótesis de miembro superior implica el uso de fuentes de simulación y control automático junto a procesos médicos y psicológicos que permiten la rehabilitación del paciente afectado. La mayor contribución del proyecto consiste en la consecución de nuevas herramientas tecnológicas sustentadas en el uso de estrategias de automatización usadas en el ambiente hospitalario dedicado al mejoramiento de la calidad de vida de la persona amputada.

Palabras clave: Antropometría, aplicaciones médicas, prótesis, tareas de manipulación, ergonomía, electrodos, mecanismo de servo.

Abstract

The writing makes reference to the investigation project in electronic engineering with applications to the medical treatment of traumatismos generated starting from the loss of an extremity. The design of superior member's prosthetic implies the use of the simulation resources and automatic control together with medical and psychological processes that allow the affected patient's rehabilitation. The main contribution of the project consists on the search of new technological tools sustained in the use of automation strategies used in the hospital environment dedicated to the improvement of the quality of the amputated person's life.

Keywords: Anthropometrics, medical applications, prostheses, manipulation tasks, ergonomics, electrodes, servo mechanism.

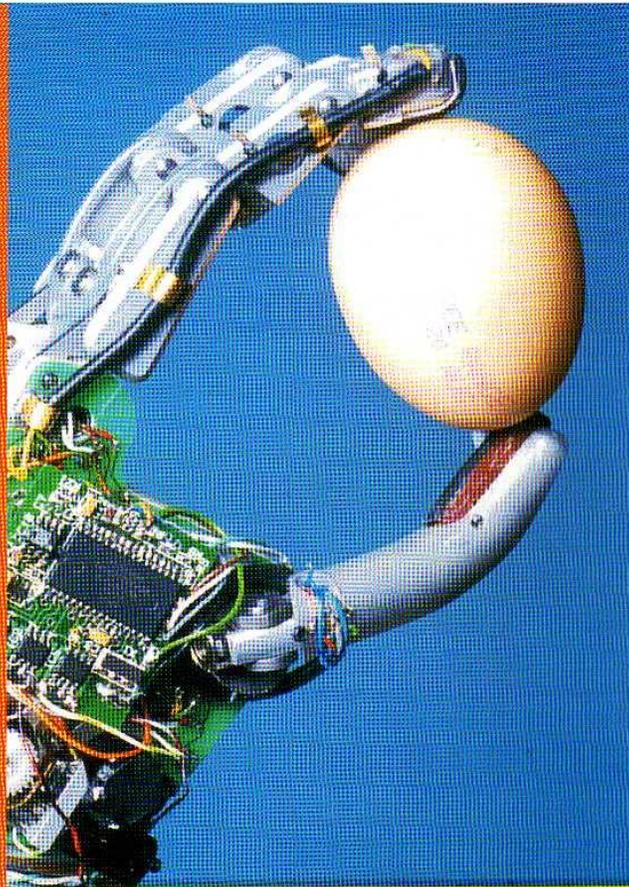


Fuente Fotográfica. Touch Bionics.

Introducción

En Colombia la crisis de la guerra ha alcanzado niveles alarmantes, a tal punto que no sólo se han incrementado las pérdidas de millones de vidas sino algo peor: dejar vidas incompletas. Es allí donde se debe pensar que la construcción de tecnología y máquinas no debe servir únicamente para destruir, sino que ante una problemática de unos pocos desadaptados, debe generar soluciones que permitan, en parte, reparar los daños hechos a una comunidad y que dichas soluciones se extiendan a todo aquel que lo necesite.

*Ingeniero Electrónico, Especialista en Instrumentación
Electrónica
Docente Facultad de Ingeniería Electrónica
Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja



Fuente fotográfica:
www.neoteo.com/homo-evolutis-hacia-que-estamo...

Ante un concepto tan relevante como el de llevar una vida normal, una persona mutilada que antes se sentía útil, ahora pierde la esperanza de encontrar su sentido de vida; el solo hecho de haber perdido un órgano o una extremidad genera dolor, ansiedad, desilusión. Aunque muchas personas tengan la fuerza suficiente para sobrellevar este caos, es mucho mayor el número que se aferra a una ilusión: retomar su vida anterior y sentirse útil. Si la ciencia es capaz de generar esto, ¿Por qué no hacerlo desde donde se imparte la ciencia? ¿Por qué no trabajar por una solución que nace desde la investigación creada para el diseño e innovación de los implantes y prótesis que actualmente se utilizan en la ciencia médica? Buscando estar acorde con la actualidad, esta técnica pretende como meta principal crear dispositivos de vanguardia, en prótesis mioeléctricas y neurológicas que brinden mayor estética y funcionalidad del órgano robótico aplicado al ser humano discapacitado.

Justificación

En vista de esta cruda realidad, cabe hacerse la pregunta: ¿Cuál es la solución para esta situación? En el mundo existen personas encargadas de brindar herramientas de apoyo que generan razones para poder colaborar con aquellas personas que sufren dolor físico mediante la restauración de funciones perdidas por lesión o enfermedad. En Colombia se necesitan tanto los implantes como las prótesis reconstructivas, que cumplen con el fundamento racional de ejecutar una tarea dentro del cuerpo con el menor riesgo de infección o rechazo por parte del paciente, todo dentro del manejo de los biopotenciales externos e internos. Si es posible detectar, instrumentar, procesar, controlar y accionar dichas cargas eléctricas, seguramente la electrónica médica pueda ser una solución bastante razonable para utilizar los medios y el potencial tecnológico que poseemos para su implementación.

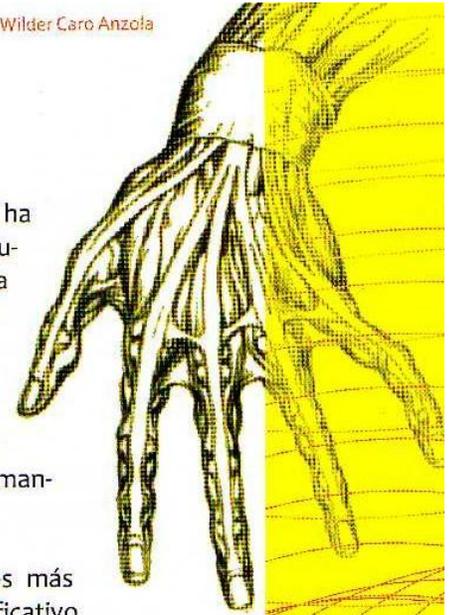
Objetivos

- Modelar sistemas biológicos mediante la aplicación de principios y cálculos matemáticos y físicos.
- Elaborar simulaciones de los modelos obtenidos para su posterior análisis.
- Diseñar y elaborar sistemas de adquisición de datos mediante sensores de movimiento y electrodos.
- Desarrollar diversos sistemas mecánicos y eléctricos para su análisis y rediseño.
- Diseñar un sistema de control óptimo para los requerimientos de funcionalidad y estética del sistema artificial.
- Diseñar e implementar la programación requerida en los microcontroladores o accesorios digitales por utilizar.

Estado del arte

Historia

El uso de miembros artificiales ha sido tema de debate en los últimos tiempos. Ya se conocían



algunos restos del año 300 a.C. en Italia; sin embargo, la primera prótesis funcional data del año 1509, se trataba de un artefacto metálico diseñado para un caballero alemán conocido como Götz Mano de Hierro, quien la utilizaba para las artes de la guerra. En 1851, Francia contaba con un inventor de prótesis de extremidades hechas con cuero de animal y madera. Más adelante, antes de la Primera Guerra Mundial (1914 - 1918) se utilizaron elementos de madera reforzadas con metal que se deterioraban con facilidad. Hasta este momento, toda construcción de prótesis se realizaba desde un aspecto fisico-mecánico, en donde la articulación era movida por energía corporal que específicamente trataba a la prótesis como un miembro rígido, sin movimiento propio o asistido y que se encontraba prácticamente atado al cuerpo. Con la aparición de la biomecánica y la electricidad, surgieron las primeras prótesis accionadas por energía eléctrica. En 1944, Alemania revolucionó la ciencia protésica con la introducción de electrónica de tubos al vacío, sin embargo el consumo era elevado para un miembro pequeño. Rusia, aportó en la Feria Mundial de Bélgica del año 1958, la primera prótesis de carácter mioeléctrico a base del

transistor de germanio. Desde allí ha nacido una gran pasión por descubrir nuevas tecnologías para la aplicación de prótesis en amputados, mediante el uso de potentes motores de corriente directa y alambres musculares, a su vez, aplicando los conceptos de confortabilidad y estética que demanda el mundo actual.

La construcción de implantes es más reciente debido al avance significativo que ha hecho la electrónica, la mecánica, la biología y las matemáticas entre otras, en el campo de la medicina. La capacidad de detectar y generar potenciales eléctricos en el cuerpo humano ha mejorado la forma de implementar dispositivos capaces de emular las funciones de casi cualquier sistema. Es por eso que existen los órganos artificiales capaces de reemplazar a sus homólogos biológicos, endoprótesis que reparan articulaciones y huesos, estimuladores de centros nerviosos o musculares para recuperar el control de tejidos u órganos, correctores fisiológicos y anatómicos, por nombrar algunos de ellos [1].

Principales dispositivos

Implante	Aplicación
Desfibrilador Automático Implantable	Desfibrila el corazón arrítmico
Estimulador de vejiga	Restaura el control vesical
Estimulador del crecimiento óseo	Reduce fracturas de difícil soldadura
Marcapasos cardiaco	Corrige arritmias cardiacas
Estimulador del cerebelo	Controla la espasticidad en la parálisis cerebral y crisis convulsivas en la epilepsia; controla la psicosis intensa
Estimulador cerebral profundo	Controla el dolor
Marcapasos diafragmático	Restaura el control respiratorio
Estimulador de nervios periféricos	Controla el dolor
Estimulador del nervio ciático poplíteo externo	Mejora la marcha en hemipléjicos
Estimulador de escoliosis	Mejora la curva escoliótica
Estimulador de médula espinal	Controla el dolor, controla la espasticidad, controla los sistemas de esclerosis múltiple
Dispositivos para rehabilitación o disfunción foniatría	Aumenta o reconstruye el sentido del oído (y por lo tanto mejora el habla)

Tabla 1. Sistemas electrónicos desarrollados como implantes. Fuente: BELOVE, Charles. Enciclopedia de la Electrónica.

Prótesis	Aplicación
Prótesis de miembro superior	Reemplazan miembros superiores o parte de ellos
Prótesis de miembro inferior	Reemplazan miembros inferiores o parte de ellos.

Tabla 2. Sistemas electrónicos desarrollados como prótesis. Fuente: Autor.

Consideraciones Fisiológicas

No todos los órganos funcionan de la misma manera, sin embargo, a nivel de tejidos, las células se pueden categorizar en óseas, musculares y nerviosas según la forma de respuesta ante los estímulos eléctricos, específicamente, de los implantes. La electrofisiología de la estimulación (Figura 1), ya sea para, soldar un hueso, contraer un músculo o transmitir un impulso eléctrico, debe cumplir con los parámetros específicos de los biopotenciales (potencial en reposo entre -70 a -90 mV intracelular/extracelular) por lo que los implantes deben someterse a la producción de cargas eléctricas que despolaricen las membranas celulares sin afectar el funcionamiento o la anatomía propia de la célula [2]. Algunos parámetros típicos son:

- Ancho de pulso: 50µS a 20 mS.
- Frecuencia: 1Hz a 1.5 kHz.
- Intensidad: 1mA a 30 mA.
- Tensión: 50mV a 30 V.

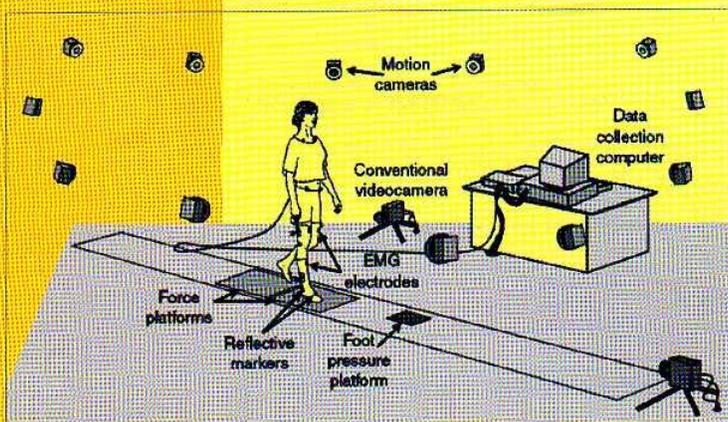


Figura 1. Adquisición de señales biológicas. Fuente: WEBSTER, John. Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation.

En cuanto a las prótesis se requiere que anatómicamente sean útiles, que presenten poca fricción con piel, músculo o hueso para evitar deformaciones morfológicas o lesiones.

Materiales

Para implantes se debe tener en cuenta que el material sea resistente a la corrosión ante la presencia de iones y líquidos, de gran flexibilidad y tensión mecánica (debido a los movimientos corporales elásticos), permeables al agua (casi el 70% del cuerpo está conformado por ella), esterilizables y no cancerígenos o tóxicos [3][5].

Para las prótesis, los materiales deben ser resistentes a los cambios de temperatura, humedad, tensión mecánica, lavables o esterilizables, livianos, adaptables y estéticos.

Conexiones

En implantes, cuando el tejido a excitar está lejos de la fuente generadora eléctrica, debe conectarse con conductores resistentes a la tracción que genera el cuerpo, deben ser fácilmente adaptados por el tejido biológico, no corrosivos, ni tóxicos y con aislamiento en lugares con líquidos electrolíticos [9].

En prótesis se deben ubicar los sensores en zonas que no interrumpan u obstruyan el movimiento de estructuras funcionales importantes, deben ser resistentes a la humedad, la temperatura, la tensión mecánica y con facilidad de conexión y excelente contacto a la piel, al músculo (mioprótesis) o al nervio (neuroprótesis).

Anatómicas

El implante debe ser lo suficientemente compacto para ser ubicado en regiones internas

que permitan su acoplamiento y en lo posible minimicen el espacio requerido para su inserción, deben ubicarse en puntos no tan visibles, pero con facilidad de conexión a equipos de recarga de energía (marcapasos) o de prueba y monitorización.

por etapas un referente conceptual sólido.

Teniendo en cuenta que se trata de una aplicación médica, se deben explorar y

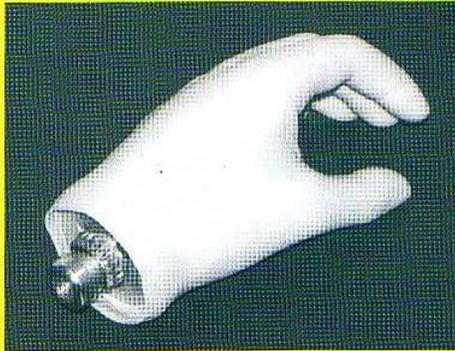


Figura 2. Forma anatómica de las prótesis actuales. Fuente: AKAY, Metin. Wiley Enciclopedia of Biomedical Engineering.



documentar los principales avances científicos que se han alcanzado en el desarrollo de sistemas artificiales para dicha aplicación y según los fundamentos anatómicos y fisiológicos que rigen a las extremidades superiores (Figuras 3, 4).

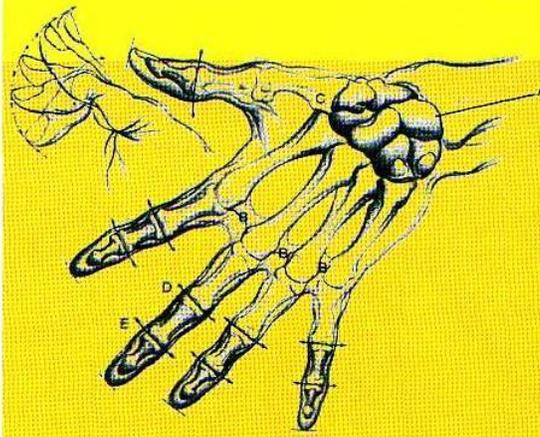


Figura 3. Anatomía de la mano. Fuente: HOGARTH, Burne. Drawing Dynamic Hands.



Figura 4. Dispositivos protésicos. Fotografía de Advanced Arm Dynamics Inc. Copyright © 2002

En cuanto a las prótesis, se requiere que sean lo más estéticas y funcionales posibles (Figura 2), que no influyan en movimientos propios del cuerpo, sólo deben simular al miembro amputado.

Desarrollo de la propuesta

El desarrollo de un proyecto de tal magnitud requiere definir con certeza los pasos de diseño e implementación de manera tal que se obtenga

Desarrollo del prototipo (Primera parte)

Fundamentos de anatomía y morfología

En un principio, se tiene que un sistema biológico es extremadamente complejo, basta con mirar la gran cantidad de elementos y acciones que intervienen en algo tan sencillo como mover el

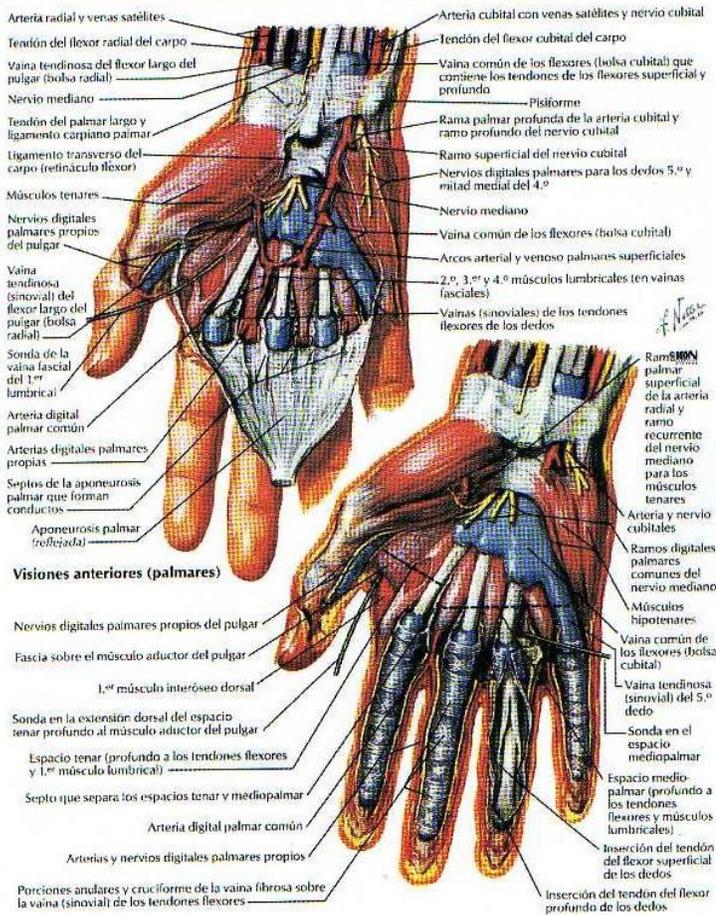
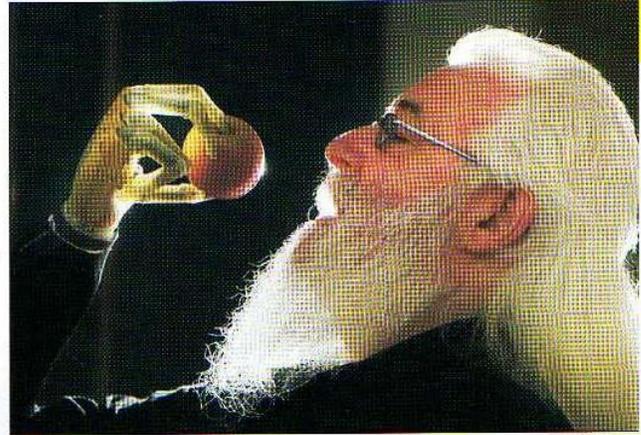


Figura 6. Visión anterior (palmar) de la mano derecha. Fuente: NETTER, Frank H. Atlas of Human Anatomy.

cinco huesos alargados (los metacarpianos) y cada uno de los cuatro dedos contiene tres falanges, una proximal, una media, y una distal (o terminal). El dedo pulgar sólo tiene dos falanges (proximal y distal) [7][10].

Teniendo en cuenta esto, se debe realizar la medición segmentaria de la mano de acuerdo al tipo de dispositivo por desarrollar; se utilizará por lo tanto la mano de un individuo adulto sano (estatura 1.70 cm) como indica la tabla 3.

Aquí se observan varias características de dimensionalidad (Figura 8), como la equivalencia en las distancias en la región medioestiloidea-dactiloidea en donde el centro del segmento es exactamente la articulación entre la falange proximal del dedo medio y el tercer hueso metacarpiano (que se encuentra aproximadamente en el eje medial de la extremidad superior); la longitud de la falange proximal en el dedo medio es aproximadamente la mitad de la longitud del dedo medio extendido; la longitud de la uña en el dedo medio es aproximadamente la mitad de la falange distal de este mismo dedo; la uña del dedo índice termina exactamente en la línea base



Fuente Fotográfica: BBC Donald McKillop, el primer recipiente de la mano biónica creada por Touch Bionics

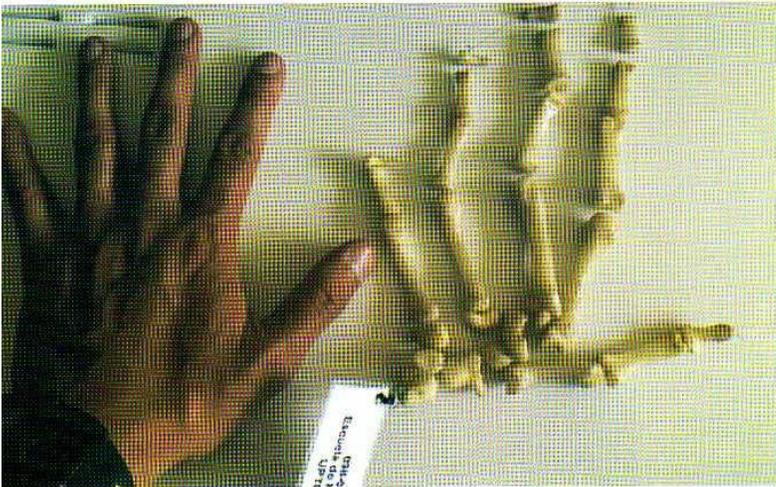


Fuente Fotográfica: BBC I-Limb funciona con un sistema que recoge señales eléctricas que generan los músculos

Relación Segmentaria	Medida en c.m.
Radial-Estiloidea (antebrazo)	26
Medioestiloidea-Dactiloidea (dedos extendidos hasta falange distal dedo medio)	19.5
Falanges del meñique desde su base	Proximal 4.8
	Medial 2.5
	Distal 1.9
Falanges del anular desde su base	Proximal 5.3
	Medial 3.5
	Distal 2.3
Falanges del medio desde su base	Proximal 5.9
	Medial 3.7
	Distal 2.5
Falanges del índice desde su base	Proximal 5.0
	Medial 3.2
	Distal 2.4
Falanges del pulgar desde su base	Proximal 4.2
	Distal 3.4

Tabla 3. Medidas antropométricas de la mano de un hombre adulto (mano izquierda). Fuente: Autor.

de la uña del dedo medio y la parte terminal del dedo meñique alinea perfectamente con la articulación del dedo anular (detalle en la siguiente figura) [4][6].



Conclusiones

En esta primera etapa se plantea realizar el estudio anatómico que fundamente la arquitectura, forma y dimensiones del dispositivo por implementar. El análisis permite establecer ciertas características de la mano que muestran rangos simétricos o proporcionales en la distribución de su estructura. Se tienen datos de longitudes segmentarios que darán paso a la siguiente etapa en donde se analizarán los aspectos de biomecánica y análisis de cuerpo libre, con el fin de obtener datos, sistemas y ecuaciones que nos permitan determinar las características dinámicas del conjunto antebrazo-muñeca-mano.

Es importante denotar que el trabajo realizado determina en cierta medida un proceso alternopor realizar por el grupo, éste es, el diseño de un sistema exoesquelético que posea la implementación de una serie de sensores acelerométricos y galgas que permitirán adquirir datos que podrán ser utilizados en

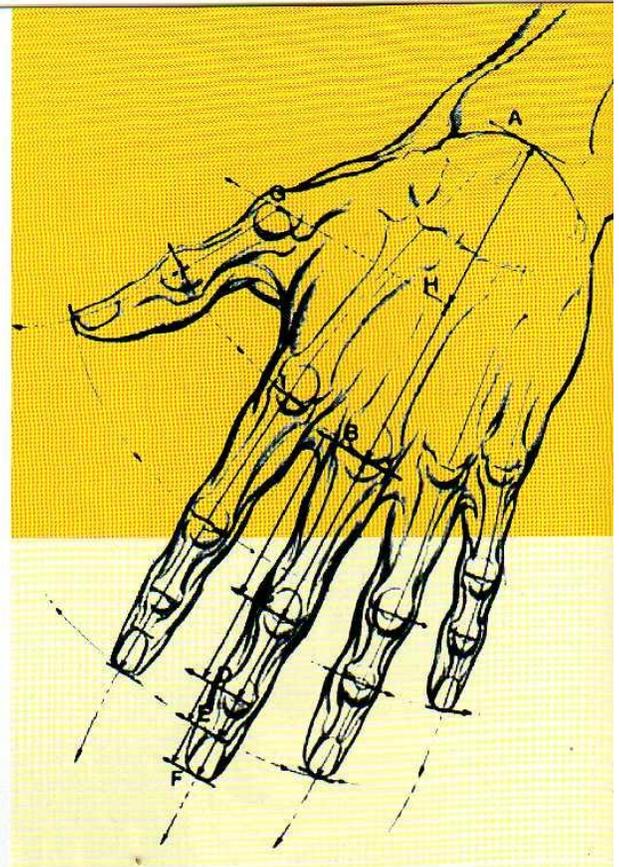


Figura 8. Estudio anatómico de una mano en un adulto (proporcionalidad).

Fuente fotográfica: Autor. Fuente gráfica: NETTER, Frank H. Atlas of Human Anatomy.

medios computacionales para su posterior análisis y simulación con imágenes.

Este trabajo construye por etapas dispositivos y elementos innovadores en el campo de la biomedicina que admiten la construcción de dispositivos protésicos con tecnología colombiana que permitan elevar la calidad de vida de las personas discapacitadas por la pérdida de una extremidad o la prolongación de vida en personas con insuficiencia de algún órgano, por medio de la programación de los microcontroladores junto con la adquisición de datos mediante sensores de movimiento y electrodos que generen simulaciones de los modelos obtenidos para un tratamiento posterior de la señal, a fin de convertir al dispositivo en un elemento adaptable a las necesidades propias del paciente y que posea cierto nivel de dependencia en el aprendizaje de movimientos y asimilación de la fisiología de este órgano artificial.

Referencias

Libros

- [1] BELOVE, Charles. Enciclopedia de la Electrónica, Tomo N° 5: Instrumentación Médica. Ed. Océano; 1992.
- [2] BRONZINO, Joseph D. The Biomedical Engineering Handbook. Ed. CRC Press, IEEE Press. 2000.
- [3] ENDERLE, John. BLANCHARD, Susan. BRONZINO, Joseph. Introduction to Biomedical Engineering. Ed. Elsevier; 2005.
- [4] FREIVALDS, Andris. Biomechanics of the Upper Limbs: Mechanics, Modeling and Musculoskeletal Injuries. Ed. CRC Press; 2004.
- [5] HAEFNER, James W. Modeling Biological Systems, Principles and Applications. Ed. Springer; 2005.
- [6] HOGARTH, Burne. Drawing Dynamic Hands. Ed. Watson-Guption Publications; 1988.
- [7] NETTER, Frank H. Atlas of Human Anatomy. Ed. ICON Learning Systems; 1999.
- [8] NORDIN, Margareta. FRANKEL, Víctor. Biomecánica Básica del Sistema Musculo-esquelético. Ed. McGraw-Hill; 2004.
- [9] NORTHROP, Robert B. Analysis and Application of Analog Electronic Circuits to Biomedical Instrumentation. Ed. CRC Press; 2004.
- [10] NORTON, Kevin. OLDS, Tim. Anthropometrica. Ed. University of New South Wales Press; 1996.
- [11] SCHNECK, Daniel J. BRONZINO, Joseph D. Biomechanics Principles and Applications. Ed. CRC Press; 2003.
- [12] WEBSTER, John G. Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation. Ed. Wiley-Interscience; 2006

Revistas y artículos científicos

- BOWKER, J.H. MICHAEL, J.W. Atlas of limb prosthetics: surgical, prosthetic, and rehabilitation principles. St. Louis: Mosby Year Book; 1992. p. 3-15.
- LEBLANC, M., BECHTOL, C.O. Endoskeletal upper extremity prosthesis. University of California at Los Angeles Prosthetics-Orthotics Program Feasibility Study; 1968.
- FLETCHER, M.J. LEONARD, F. The principles of artificial-hand design. Artif Limb 1955;2:78-94.
- DONOVAN, W.H. The next generation myoelectric prosthesis. Houston, TX: The Institute for Rehabilitation and Research; 1994.
- SANTSCHI, W.R. Manual of upper extremity prosthetics. Los Angeles: University of California at Los Angeles; 1958. p. 33-68.