

Visión artificial en el humano

RESUMEN

Desde 1960 se han realizado esfuerzos para crear una prótesis visual para pacientes ciegos; la mayor parte de los dispositivos, sustentados en la creación de fosfenos a partir de la estimulación eléctrica con microelectrodos implantados en retina, nervio óptico, geniculado lateral o lóbulo occipital, han sido incapaces de reconstruir un mapa retinotópico congruente (homología entre las coordenadas espaciales de la imagen y la percepción visual del paciente); además de presentar importantes limitantes en la biocompatibilidad del implante con la terminal nerviosa, impidiendo su instalación definitiva mediante cirugía, la cual conlleva riesgos. Con fundamento en las nuevas teorías sobre percepción intermodal es posible la adquisición de información visual mediante otros sentidos. El Grupo de Micromecánica y Mecatrónica de la Universidad Nacional Autónoma de México presenta el diseño y construcción de una prótesis de sustitución sensorial visual para pacientes ciegos a partir de un sistema efector vibrotáctil. Este mecanismo desplaza de manera lineal barras efectoras sobre la epidermis del paciente, recreando una matriz de puntos de presión ordenados en una secuencia lógica de filas y columnas que permite la reconstrucción de imágenes mediante un dispositivo externo que no requiere técnicas invasivas.

SUMMARY

Since 1960 many attempts have been made to develop visual prostheses for the blind; most of the devices based on the production of phosphenes through electrical stimulation with microelectrodes at the retina, optic nerve, lateral geniculate or occipital lobe are incapable to reconstruct a coherent retinotopic map (coordinate match between the image and the visual perception of the patient); furthermore they display important restrictions at the biomaterial level that hinder their final implantation through surgical techniques which at present time offers more risks than benefits to the patient. Considering the new theories about intermodal perception it is possible the acquisition of visual information through other senses; The Micromechanics and Mechatronics Group (GMM) from The Center of Applied Sciences and Technological Development at The National Autonomous University of Mexico by this paper, describes the experimental design and psychophysical data necessary for the construction of a visual sensory substitution prostheses with a vibrotactile system. The vibrotactile mechanism locates different bars over the epidermis in a predetermined way to reproduce a point by point matrix order in a logical sequence of rows and columns that allow the construction of an image with an external device that not require invasive procedures.

Grupo
de Micromecánica
y Mecatrónica, Centro
de Ciencias Aplicadas
y Desarrollo
Tecnológico,
Universidad Nacional
Autónoma de México,
Distrito Federal, México

Comunicación con:
Luis Octavio
Ortigoza-Ayala.
Tel: (55) 5364 2751.
Correo electrónico:
tavounam@hotmail.com

Recibido: 7 de mayo de 2007

Aceptado: 22 de abril de 2008

Introducción

Durante la década de 1960 se realizó el Primer Congreso de Visión Artificial para Personas Ciegas en el Instituto Tecnológico de Massachussets de Estados Unidos; el contenido estuvo centrado en un concepto crucial: considerar la producción de un fosfeno (percepción visual descrita como un punto de luz en un fondo negro) como el elemento neurofisiológico básico para la reconstrucción de

imágenes en personas ciegas (figura 1a). La evidencia científica que da sustento a esta analogía fosfenos-píxeles surge a partir de la producción incidental de fosfenos al estimular eléctricamente la corteza cerebral de pacientes epilépticos mediante electrodos (figura 1b), terapia médica empleada para crisis convulsivas de difícil control.

Con base en el fundamento anterior se instituye como metodología experimental en el área de visión artificial humana, el empleo de electrodos ordenados

Palabras clave

personas con daño
visual
ceguera
agnosia

Key words

visually impaired
persons
blindness
agnosia

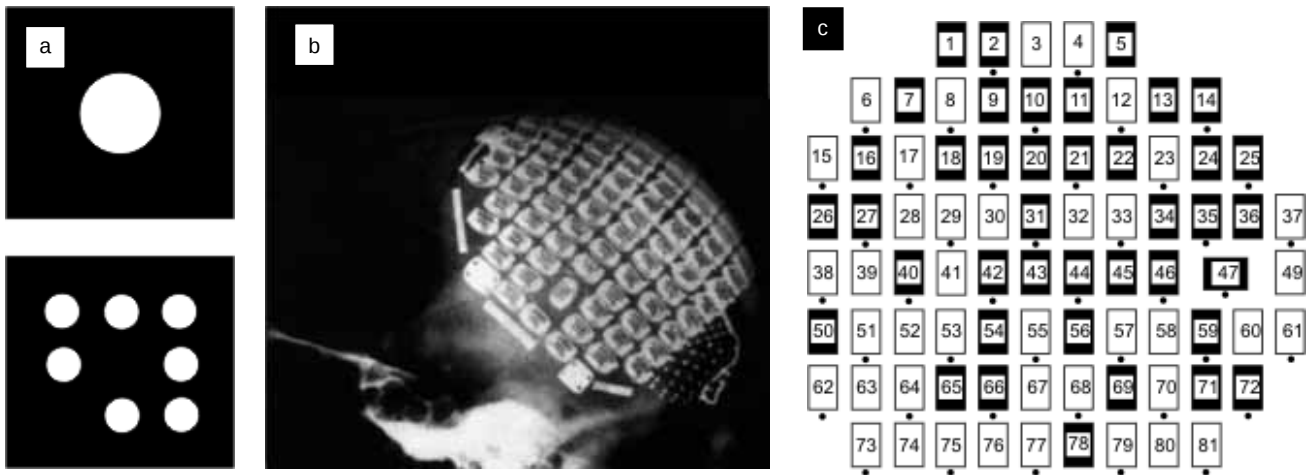


Figura 1. a) Fosfenos. b) Electrodo colocados sobre corteza cerebral. c) Arreglo matricial de electrodos

numéricamente en filas y columnas sobre la superficie de la corteza occipital (figura 1c), con la finalidad de establecer una correspondencia espacial entre las coordenadas de los electrodos y la localización de los fosfenos reproducidos eléctricamente.¹

No obstante y contrario a los resultados esperados, no se reproducen fosfenos de geometría circular sino más bien barras de luz con una orientación angular específica, lo que demuestra que a nivel de corteza occipital las neuronas visuales no responden a estructuras simples (fosfenos) sino a la suma de múltiples puntos de luz que conforman estructuras más complejas (barras de luz). Es por eso que en la actualidad diversos grupos científicos en el mundo han optado por la estimulación eléctrica de terminales nerviosas periféricas como la retina y el nervio óptico.²

De esta manera se retoma el método experimental implementado en un inicio para la producción de visión artificial a nivel de la corteza occipital: el empleo de electrodos ordenados numéricamente en filas y columnas, pero ahora sobre la superficie de la retina.

A diferencia de lo ocurrido en la corteza occipital, la retina responde a la estimulación eléctrica con la producción de fosfenos de geometría circular en el sitio específico donde se sitúa el electrodo activado, con la peculiaridad de añadir de manera simultánea fosfenos extras (fenómeno de superposición) en el campo visual de la persona ciega, aun cuando éstos se encuentran alejados con una distancia considerable del área de estimulación de los electrodos activos.³ Debido a ello, en fechas recientes se ha planteado la estimulación eléctrica de los axones que conforman el nervio óptico,⁴ si bien la información que llega a cada axón posee un alto grado de infor-

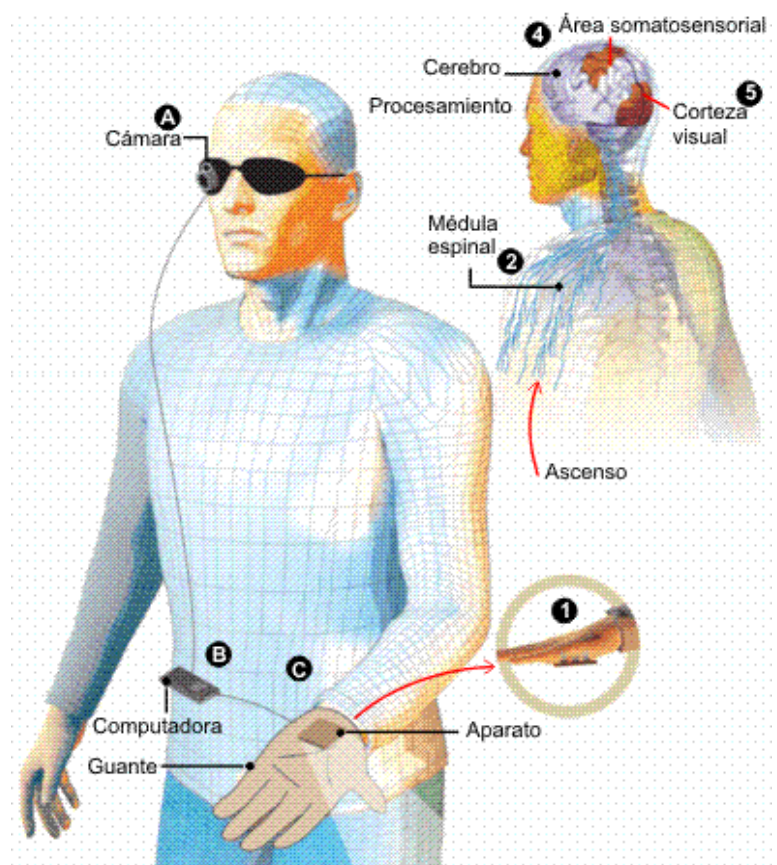


Figura 2. Visión artificial humana. Sistema constituido por sensor óptico (A) que captura imágenes en tiempo real y las envía a una interfase (B), que codifica la información en estímulos mecánicos a través de un efector vibrotáctil (C), sistema de solenoides montados en un guante háptico que generan puntos de presión sobre los receptores de la mano (1). Estos impulsos nerviosos ascienden por la médula espinal (2) hasta el área somatosensorial (3-4), donde realizan sinapsis de asociación con el área visual (5), permitiendo a la persona ciega interpretar imágenes táctiles

mación comprimida, desconociéndose en su totalidad el código de procesamiento neuronal que permite la transformación de la información visual de un punto A (células ganglionares) a un punto B (axones del nervio óptico) (figura 2).

Propuesta

Conforme los antecedentes expuestos se concluye que existen limitantes neurofisiológicas vitales: reconstrucción no controlada de fosfenos en el campo visual de la persona ciega y desconocimiento del código neuronal de procesamiento visual, que impiden el desarrollo de visión artificial tanto a nivel central como periférico, mediante el uso de estimulación eléctrica producida con electrodos. Es por eso que se propone el empleo de una teoría de reciente aparición en el campo de las neurociencias: la sustitución sensorial. Dicha teoría establece que a partir del sentido táctil es posible la adquisición de información visual.⁵

La evidencia científica que da validez al argumento anterior radica en la plasticidad del cerebro, la cual mediante sinapsis de asociación permite la conexión directa entre el área visual (lóbulo occipital) y el área somatosensorial (lóbulo temporal). A partir de este hecho surge la alternativa de producir visión artificial mediante una sensación táctil, es decir, recrear punto por punto en la piel del individuo ciego, imágenes mediante el concepto teórico píxeles-fosfenos (ahora denominados “puntos de contacto”, percepción táctil descrita como la sensación de presión en un punto fijo de la piel), con la ventaja fundamental de reconstruir de manera controlada los píxeles-fosfenos en el campo visual de la persona ciega, a diferencia de lo acontecido en la retina, así como la libertad de establecer un código de procesamiento visual propio sin necesidad de descifrarlo, como sucede en el nervio óptico.

Ortigoza-Ayala LO
et al.
Visión artificial
humana

Prótesis de sustitución sensorial

Principio de funcionamiento

Empleando la experiencia del Grupo de Micromecánica y Mecatrónica del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM),⁶⁻⁹ se plantea el uso de un sistema de solenoides en un arreglo matricial de filas y columnas (figura 3a), los cuales al generar un campo electromagnético desplazan un elemento magnético (imán) contenido en un pin (barra efectora) (figura 3b); el mecanismo descrito permite situar de manera controlada coordenadas de puntos para la reconstrucción de imágenes.

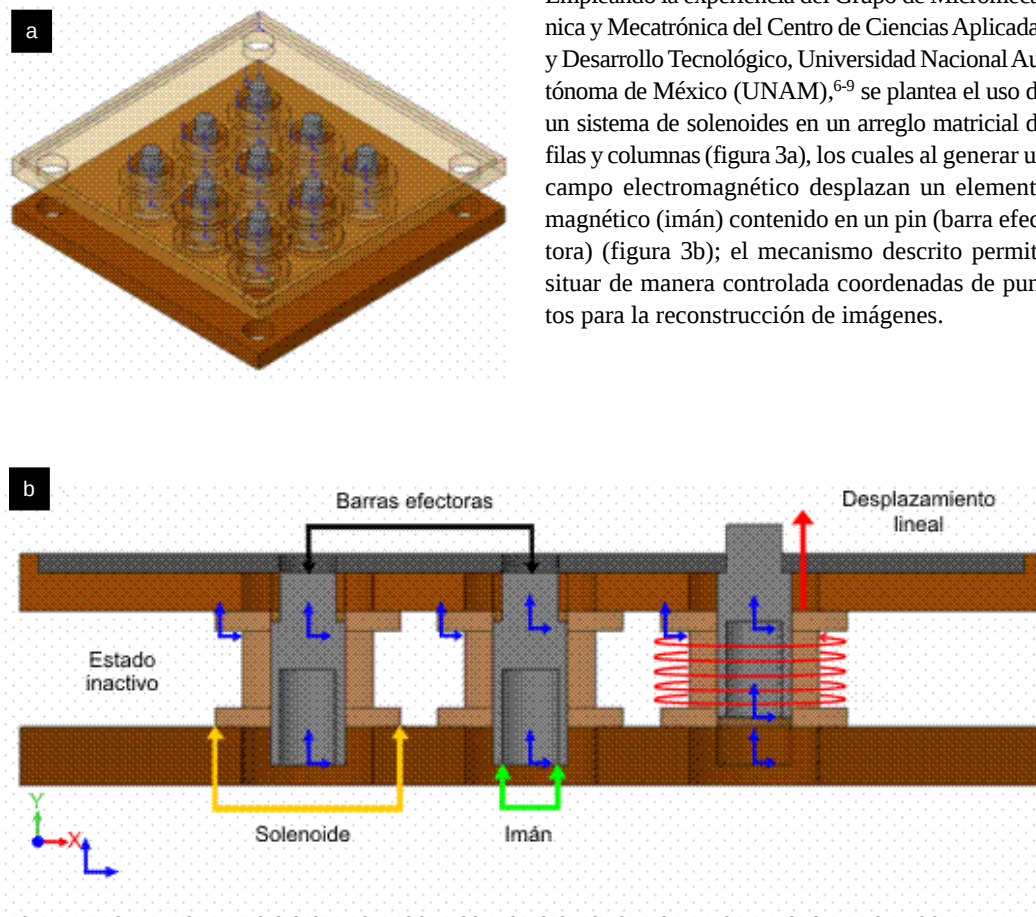


Figura 3. a) Arreglo matricial de solenoides. b) Principio de funcionamiento de los solenoides

Parámetros de diseño

Al emplear la piel como el órgano receptor de los puntos de contacto, se debe considerar que la topografía de la misma difiere de manera tal que existen zonas en las que hay un número reducido de mecanorreceptores (receptores especializados en la percepción de diversas sensaciones táctiles: presión, vibración, temperatura, tacto grueso y fino) separados entre sí por grandes distancias, como en la espalda; mientras que en contraposición, la palma de la mano posee la mayor densidad de mecanorreceptores en todo el cuerpo, lo que hace de ésta, la región ideal para establecer la mayor relación de puntos de indentación por unidad de área. Para tal efecto, es necesario definir las variables que determinan la capacidad para introducir el mayor número de solenoides por área palmar:

- Distancia de separación mínima entre dos puntos de indentación.
- Área menor de la cara superior de la barra efectora.

Las dos variables comentadas han sido estudiadas por otros equipos científicos,⁵ pero los grupos analizados han estado conformados por sujetos sin minusvalía visual, hecho que impide retomar los resultados obtenidos para la manufactura de la prótesis de sustitución sensorial, ya que se debe considerar que las personas ciegas poseen un mayor grado de agudeza táctil, hecho que brinda en teoría la posibilidad de introducir un mayor número de solenoides por unidad de área que en individuos sanos. Es por eso que el Grupo de Micromecánica y Mecatrónica de la UNAM ha diseñado dos fases experimentales que permitan dilucidar hasta qué punto es factible disminuir la distancia y el área de las barras

efectoras en personas ciegas, con la finalidad de reducir al máximo posible las dimensiones del arreglo matricial de solenoides.

Fases experimentales

Distancia de separación mínima

La distancia de separación mínima desde el punto de vista neurofisiológico se describe como la capacidad del individuo para identificar y discriminar dos estímulos táctiles presentados de manera simultánea (figura 4a), lo que le permite percibir ambos puntos de contacto como dos elementos únicos e independientes entre sí, factor clave para la reconstrucción de imágenes punto por punto.

Para determinar experimentalmente la característica anterior, mediante un software asistido por computadora se han diseñado arreglos matriciales de solenoides en filas y columnas de 3×3 , manteniendo constante tanto el área total de la cara superior que contiene a los solenoides como el número de éstos, modificando solo la distancia que separa cada solenoide (figura 4b), con lo que ha podido confeccionarse un prototipo por cada diseño, que disminuye de manera gradual la distancia entre los solenoides.

Cara superior de la barra efectora

Una vez fabricados los prototipos anteriores, se procede al diseño y manufactura de las barras efectoras que se encuentran en cada solenoide. Para ello se ha modificado la geometría como la superficie de contacto (figura 5a) de las barras efectoras en grupos de nueve, con la finalidad de producir una variedad geométrica por cada prototipo cons-

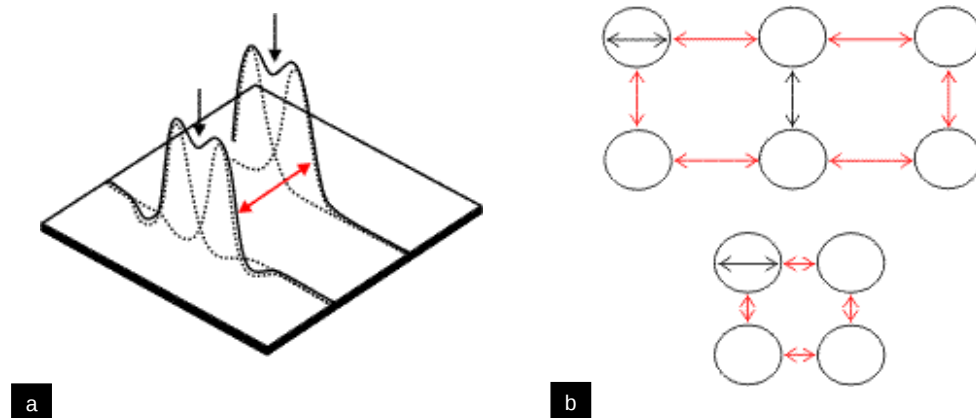
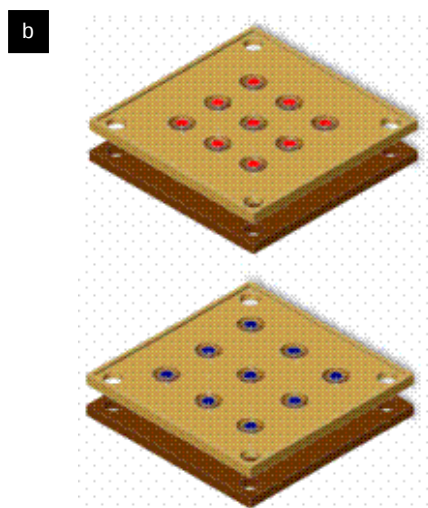
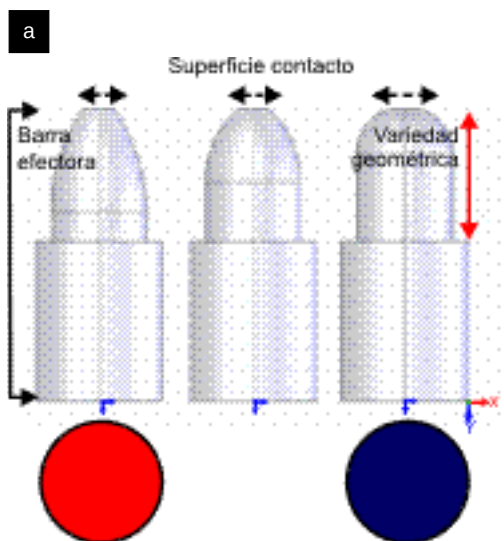


Figura 4. a) Estímulos simultáneos. b) Disminución gradual de la distancia entre barras efectoras



Ortigoza-Ayala LO
et al.
Visión artificial
humana

Figura 5. a) Geometrías de las barras efectoras. b) Arreglos matriciales con diferentes distancias de separación y geometrías de barras. Nótese la correlación entre las barras efectoras con menor superficie de contacto (círculo izquierdo) en la figura a, y el arreglo matricial con menor distancia de separación entre barras mostrada en la parte superior de la figura b

truido (arreglo matricial de 3×3 que presenta una distancia de separación entre solenoides específica) (figura 5b).

Estado actual del proyecto

Hasta el momento se han diseñado y manufacturado las partes mecánicas y las eléctricas que conforman los prototipos que serán empleados en las fases experimentales descritas (figura 6a). Actualmente se desarrolla la etapa de control que permita caracterizar el desplazamiento simultáneo del número de barras efectoras en el eje vertical, como se muestra en la figura 6b; una vez que se obtengan los resulta-

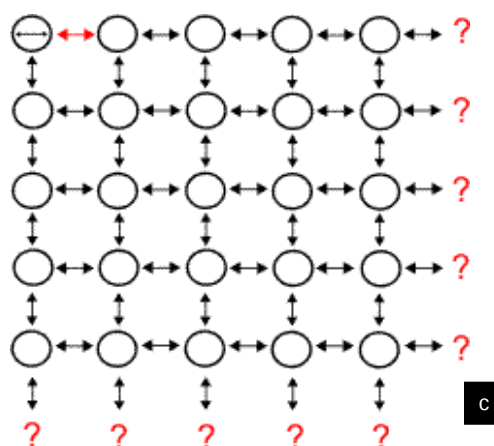
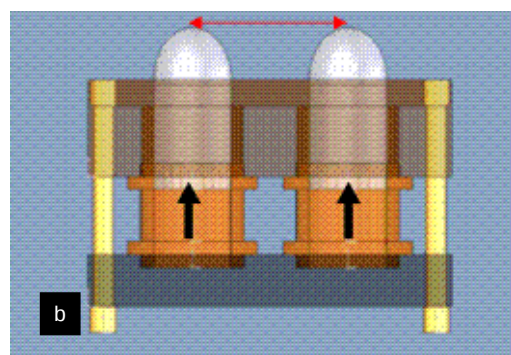
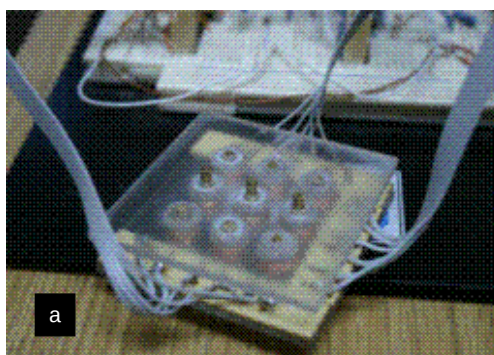


Figura 6. a) Prototipo de prótesis de sustitución sensorial visual. b) Desplazamiento simultáneo de barras efectoras. c) Arreglo matricial con el mayor número de solenoides por unidad de área

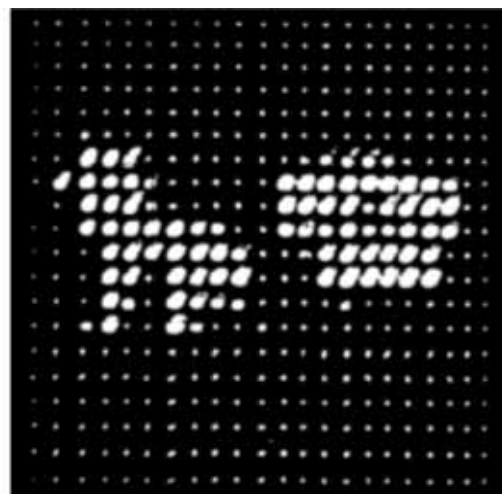
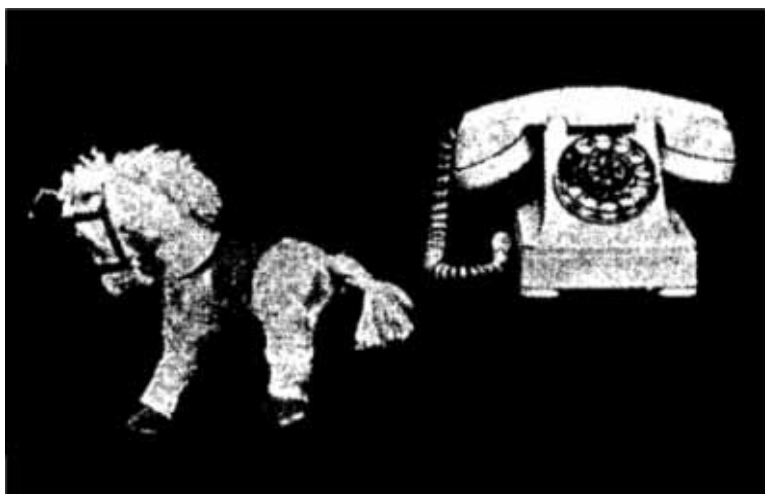


Figura 7. Reconstrucción de imágenes punto por punto.

dos de esta caracterización se dará inicio a las fases experimentales en personas ciegas, con el fin de determinar la distancia de separación mínima en la que el individuo es capaz de identificar y discriminar dos puntos de contacto con la menor superficie como dos puntos únicos e independientes entre sí; lo anterior, con el propósito de establecer hasta qué punto es posible disminuir las dimensiones tanto del solenoide como de la barra efectora para introducir en el arreglo matricial el mayor número de solenoides por unidad de área (figura 6c).

Es conveniente mencionar la razón de adjudicar tanta relevancia a la premisa anterior: al introducir el mayor número de solenoides por unidad de área aumenta de manera proporcional el número de puntos de indentación, es posible reconstruir imágenes de mayor complejidad visual (figura 7).

Conclusiones

Según la evidencia científica actual, diseñar y manufacturar una prótesis de sustitución sensorial visual mediante el sentido táctil es una alternativa viable en comparación con otros adelantos mencionados (estimulación eléctrica mediante electrodos situados sobre la corteza occipital, retina o nervio óptico), al poseer las siguientes ventajas: reconstrucción controlada de los píxeles-puntos de contacto en el campo visual de la persona ciega, libertad de establecer un código de procesamiento visual propio sin necesidad de descifrarlo y ser un dispositivo externo que no requiere cirugía para su implantación.

Referencias

1. Swett JE, Bourassa MC. Electrical stimulation research techniques. New York, USA: Academic Press; 1981.
2. Gorea A. Thoughts on the specific nerve energy. En: Gorea A, editor. Representations of vision. Cambridge, Great Britain: Cambridge University Press; 1991. p. 219-230.
3. Govardovskii VI. The early receptor potential: its mode of generation, application to study of photoreceptors, and functional significations. En: Borsellino A, Cervetto L, editores. Photoreceptors. New York, USA: A Plenum Press; 1984. p. 129-146.
4. Falk G. The Transmission of rod signals to horizontal and bipolar cells. En: Gallego A, Gouras P, editores. Neurocircuitry of the retina a cajal memorial. New York, USA: Elsevier Science Publishing Company; 1985. p. 34-50.
5. Bach y Rita P. Some tacit assumptions in visual psychophysics. En: Gorea A, editor. Representations of vision. Cambridge, Great Britain: Cambridge University Press; 1991. p. 251 -278.
6. Kussul E, Baidyk T, Ruiz-Huerta L, Caballero-Ruiz A, Velasco G. Scaling down of microequipment parameters. Precision Engineering 2006;30(2): 211-222.
7. Kussul E, Ruiz-Huerta L, Caballero-Ruiz A, Baidyk T, Velasco G, Kasatkin O, et al. CNC machine tools for low cost microdevices manufacturing. J Appl Res Technol 2004;2(1):76-91.
8. Kussul E, Baidyk T, Ruiz-Huerta L, Caballero-Ruiz A, Velasco G, Kasatkina O. Development of micro-machine tool prototype for microfactories. J Micromech Microeng 2002;12(6):795-812.
9. Ortigoza L, Kussul E, Caballero-Ruiz A, Ruiz-Huerta L. Diseño de una prótesis de sustitución sensorial visual para pacientes ciegos. En: XXI Congreso Nacional de Instrumentación SOMI. México, Ensenada, Baja California Norte, octubre 22-25, 2006.