

Selección de Parámetros Óptimos para la Electroestimulación Cutánea en Personas Ciegas

A.M. Echenique¹, J.P. Graffigna¹, and V. Mut²

¹ Universidad Nacional de San Juan, Gabinete de Tecnología Médica, San Juan, Argentina. amechenique@gateme.unsj.edu.ar

² Universidad Nacional de San Juan, Instituto de Automática, San Juan, Argentina

Abstract—This work is part of the knowledge area of Assistive Technology, Sensory Substitution specifically for individuals with visual impairments. The objective is focused on the study of solutions for reading with Braille for the blind, using the sense of touch through electrocutánea stimulation of mechanoreceptors located in the fingertip. Aims to facilitate access to written information in order to achieve better social inclusion and integration into work and educational activities. In the present study discusses the method of electrical stimulation current, and from theoretical analysis were selected optimal parameters of stimulation to help capture the feel of pure pressure. Was the same experiments by a prototype designed for this purpose, in 8 blind and visually impaired, with satisfactory results.

Palabras claves— Tecnología de Asistencia, Personas Ciegas, Sistema Braille, Estimulación Eléctrica, Mecanorreceptores.

I. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de asistencia (TA), aplicadas correctamente, contribuyen a superar las limitaciones en la actividad impuestas por las discapacidades. Su objetivo central es la de facilitar la realización de una actividad a una persona con discapacidad sobre un contexto particular [1].

En el caso de las personas ciegas, donde los dispositivos aumentativos no son adecuados, generalmente se plantean soluciones en tecnologías de asistencia que involucran el concepto de sustitución sensorial [2]. El mismo consiste en recibir información que normalmente es percibida por la visión y enviar la misma a la persona a través de otro sentido (tacto o audición).

Los dispositivos utilizados para la sustitución sensorial requieren de tres componentes básicos: una interfaz que toma variables del ambiente, un sistema de procesamiento de datos y finalmente un elemento que brinde la información de utilidad a la persona.

En la realimentación del contexto hacia la persona se han desarrollado dispositivos de estimulación táctil (displays táctiles). Los "DISPLAYS TÁCTILES", son dispositivos que presentan información a la persona (con discapacidades sensoriales o no) estimulando los nervios perceptivos de la piel. Existen diferentes tipos de actuadores que se han utili-

zando para estimular el sentido de tacto. De acuerdo a la investigación realizada por [3] estos se dividen en tres categorías según el tipo de estímulo: térmicos, eléctricos o mecánicos. Los actuadores Térmicos son bombas de calor que estimulan los receptores en la piel sensibles a la temperatura. Los Actuadores eléctricos son los electrodos a los cuales se le aplica un estímulo eléctrico (voltajes o corrientes), y su objetivo no es normalmente activar los receptores, pero si sus terminales nerviosos aferentes asociados. Y por último, los actuadores mecánicos, que traducen la información en una fuerza o en un desplazamiento, y/o vibración; el cual es detectado por los mecanorreceptores de la piel.

El tacto presenta una serie de ventajas sobre la estimulación auditiva [2].

La estimulación eléctrica ofrece ventajas con respecto a otros medios: carece de inercia térmica, fatiga y desgaste de elementos móviles y permite lograr diseños compactos con componentes de estado sólido, de reducido tamaño y bajo costo.

Los principales problemas que enfrentan las personas con discapacidad visual son: el acceso a material de lectura, las restricciones en la movilidad y orientación, y manipulación y reconocimiento de objetos.

En relación a la lectura, el sistema de lectoescritura Braille es muy utilizado por las personas ciegas y sordociegas, y se caracteriza por su universalidad y relativa sencillez. En este sentido, el presente trabajo presenta un aporte en la selección de los parámetros de estimulación eléctrica por corriente, a fin de lograr sensaciones táctiles que permitan a las personas ciegas la lectura, utilizando el sistema Braille a través de una interfaz adecuada.

A continuación se describirán los tipos de mecanorreceptores, sus características y el principio de estimulación eléctrica selectiva.

A. Estructura de la piel

Se estudiaron varios tipos de mecanorreceptores ubicados en la piel humana, principalmente, (1) los corpúsculos de Meissner o mecanorreceptores de adaptación rápida (RA: rapidly adapting), (2) las células de Merkel o mecanorreceptores de adaptación lenta tipo I (SAI: slowly adapting type I), (3) los terminales de Ruffini o mecanorreceptores de adaptación lenta tipo II (SAII: slowly adapting type II), y (4) los corpúsculos de Pacinian (PC: Pacinian Corpuscle). Al ser la

población de SAII muy pequeña, fue excluida del estudio. Investigaciones realizadas [4-6]; consideraron que se podían estimular los mecanorreceptores por separado; y las combinaciones de esos estímulos podrían producir distintas sensaciones táctiles.

En Fig. 1 se observa la sección transversal de la piel humana. RA y PC se consideran que perciben la vibración, mientras que SAI percibe la presión [6]. Algunas veces RA y PC (mecanorreceptores de adaptación rápida) son considerados como sensores de velocidad y aceleración, ya que responden con un solo impulso a la deformación, mientras que SAI (mecanoreceptor de adaptación lenta) es denominado sensor de posición o de desplazamiento, ya que responden a intensidad y duración del estímulo.

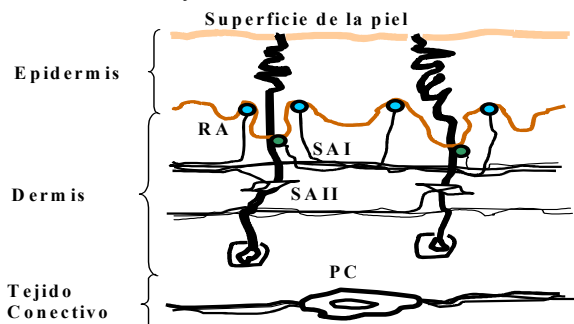


Fig. 1 Sección transversal de la piel humana.

RA: corpúsculo de Meissner, SAI: célula de Merkel, SAII terminal de Ruffini, PC: corpúsculo de Pacinian

En la Tabla 1 [6] se observan las características más importantes de los mecanorreceptores, tenidas en cuenta al momento de la estimulación.

Como consecuencia de la diferencia de tamaños, el estímulo eléctrico de los nervios de los mecanorreceptores es mucho más fácil de producir que el de otros nervios aferentes, debido a que generalmente el umbral de estimulación aumenta con el diámetro [5].

Tabla 1 Profundidad, diámetro y orientación de los axones de los mecanorreceptores, respecto de la superficie de la yema del dedo.

Mecanorreceptores	Profundidad mm	Diámetro μm	Orientación
Meissner(RA)	0,7	3 ~ 5	Perpendicular
Merkel(SAI)	0,9	7 ~ 12	Paralelo
Pacinian(PC)	2,0 ~	5 ~ 13	Paralelo
Dolor, calor y frío	1 ~

Otra característica importante en la yema del dedo es el grosor de la capa cornea de la piel, cuyo valor aproximado es 600 μm mientras que en otras partes del cuerpo es tan pequeña como de 15 μm [4],[5].

B. Mecanismo de estimulación eléctrica selectiva

Se consideraron las investigaciones relacionadas con los mecanismos de estimulación eléctrica, donde se controló la distribución de una fuente de corriente en la superficie de la piel y la activación del nervio en forma indirecta [6]. Cuando un pulso de corriente catódica (negativa) se aplica a la superficie de la piel, se activan los axones de los nervios orientados horizontalmente a la superficie.

Contrariamente cuando se aplica corriente anódica (positiva) como estímulo, se activan los axones de los nervios orientados verticalmente, como el axón de RA.

Para lograr una sensación de presión se define una señal de estímulo como la mostrada en la Fig. 2, donde se le agregaron algunas restricciones para evitar posibles lesiones al tejido cutáneo. Primero, la corriente máxima de salida de un electrodo es limitada a 2 mA. Por otro lado, si bien la estimulación puede ser catódica o anódica, la corriente aplicada típicamente es bifásica (negativa y positiva) a fin de eliminar acumulación de cargas en la superficie de la piel.

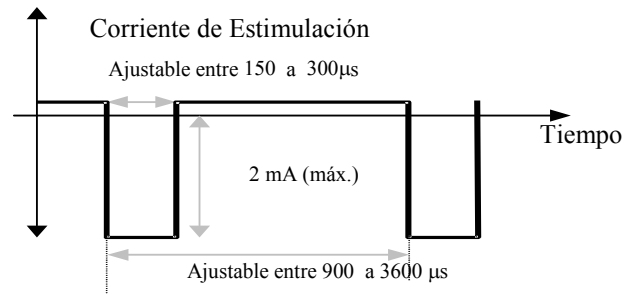


Fig. 2 Forma de onda de la corriente de estimulación

II. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO

El prototipo de experimentación utilizado, se ilustra en forma simplificada, en el diagrama en bloques de la Fig.3.

La estimulación electrocutánea es controlada por una computadora. En ella, a través de un software desarrollado en Windows® se ingresan los diferentes parámetros relativos al pulso de estimulación (frecuencia y ancho de pulso). La selección del ancho de pulso se realiza en pasos de 10 μs, en el rango de 150 a 300 μs.

Al seleccionar el ancho de pulso automáticamente queda disponible para el usuario, la selección de la frecuencia entre tres valores distintos en el rango de 278 a 1111 Hz, tal como se consigna en la Tabla 2.

La Interfaz (CP2102), permite la adaptación de la información de salida de la PC vía USB a UART.

El microcontrolador (MC68HC908QY4) está programado para recibir los parámetros seleccionados y controlar el convertidor de tensión en corriente (V-I). Este último, se

diseño con dos fuentes de corriente, del Tipo cascode con transistores bipolares, calibrados para una corriente máxima de salida de 2 mA en la fase negativa y una salida de 0,5 mA en la fase positiva de la señal.

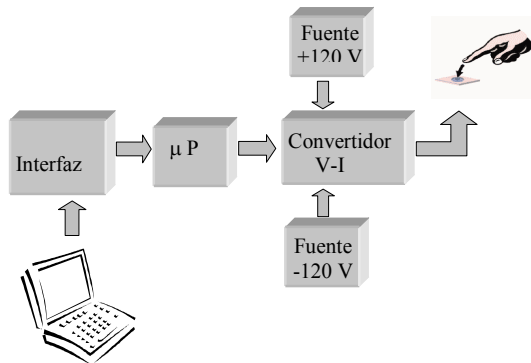


Fig. 3 Diagrama en bloques del prototipo de experimentación

Tabla 2 Valores de Frecuencia y Ancho de Pulso, a seleccionar

Ancho de Pulso [μs]	Frecuencia [Hz]		
	F1	F2	F3
	para una Relación Ap/T=0,16	para una Relación Ap/T=0,12	para una Relación Ap/T=0,08
150	1111	714	555
160	1042	685	521
170	980	658	490
180	926	633	463
190	877	610	439
200	833	588	417
210	794	568	397
220	758	549	379
230	725	532	362
240	695	515	347
250	666	500	333
260	641	485	320
270	617	472	309
280	595	459	298
290	575	446	287
300	555	435	278

La alimentación del convertidor de V-I se realiza a través de las fuentes de CC lineales de ± 120 V, de característica V-I plegada con limitación de corriente máxima de salida de 6 mA. Estas fuentes de alimentación proveen un transformador de aislación.

El electrodo de estimulación, se realizó de acuerdo a las experiencias realizadas por el mismo grupo de investigado-

res en trabajos anteriores [7-9], cumpliendo además con los requisitos de: tamaño, simplicidad y bajo costo. El mismo consiste en un pin de acero de 0,1 cm de diámetro, insertado en una placa de acrílico pulida.

El electrodo de retorno de los estímulos se realizó con una placa metálica, dispuesta en una malla ajustable alrededor del dedo a estimular.

III. EXPERIMENTACIÓN

A. Metodología de la experimentación

La experimentación se realizó con dos grupos de personas, el primer grupo es el de cuatro personas adultas de visión normal y el segundo es de 8 personas adultas ciegas y disminuidas visuales. El objetivo principal de experimentación con el primer grupo, es el de ajustar el rango de variabilidad de los parámetros del estímulo (frecuencia y ancho de pulso) y en base a esta experimentación, se redujo el número de parámetros a experimentar en el segundo grupo.

El procedimiento que se utilizó para los ensayos, consistió en estimular con la menor intensidad de corriente y se continuó incrementando hasta lograr la primera sensación en el individuo. Sólo se consignan los datos donde se obtuvieron sensaciones táctiles (ST) definidas, y hasta los umbrales de corriente aceptables para cada sujeto, evitando sensaciones molestas. Las ST que se percibieron fueron: Vibración, Presión, Pinchazo y Cosquilleo, definidas cada una de ellas como:

- Vibración (Vi): sensación de tacto intermitente.
- Presión (P): sensación de tacto permanente.
- Pinchazo (Pi): sensación de presión aguda, similar a la punta de un alfiler.
- Cosquilleo (C): Sensación de tacto fino.

B. Resultados

A partir de la experimentación con el primer grupo de personas, se obtienen los datos consignados en la Tabla 3.

El resultado de esta experimentación permitió destacar que las ST de Vi y C, se perciben con anchos pulso activos menores a 200 μs, con las relaciones Ap/T de 0.08 y 0.12. La ST de P, se logra percibir de manera aislada de las otras ST, con anchos de pulso de 220 y 230 μs, con las tres Relaciones Ap/T. Por este motivo se eligieron para continuar la experimentación con el segundo grupo de personas, los siguientes anchos de pulso: 200, 250 y 300 μs y los tres valores de Relaciones Ap/T. Los datos de la experimentación con el segundo grupo de personas, se detallan en la Tabla 4.

Tabla 3 Número de personas de visión normal que perciben las distintas ST, en función de la Relación Ap/T y Ancho de pulso Activo.

ST	Ap/T	Ancho de Pulso Activo de 150 a 300µs, con pasos de 10 µs															
		220								230							
C	0,08	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,12	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,16	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vi	0,08	0	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,12	0	0	4	4	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P	0,08	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	1	1	0	0
	0,12	0	0	0	0	0	2	2	4	4	4	4	4	3	3	3	3
	0,16	0	0	0	0	4	4	4	4	4	2	0	0	0	2	2	0
Pi	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	4
	0,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	4	4	2	2	4	4

Tabla 4 Número de Ciegos y disminuidos visuales que perciben las distintas ST, en función de la Relación Ap/T y Ancho de pulso Activo.

ST	Relación Ap/T	Ancho de Pulso [µs]		
		200	250	300
C	0,08	0	0	0
	0,12	5	6	0
	0,16	0	0	0
Vi	0,08	0	0	0
	0,12	2	0	0
	0,16	0	0	0
Pp	0,08	8	8	2
	0,12	0	1	8
	0,16	8	8	2
Pi	0,08	0	0	6
	0,12	1	1	0
	0,16	0	0	6

Analizando la Tabla 4, la mayor densidad de personas ciegas y disminuidas visuales que perciben la sensación de Presión (sin la presencia de las otras ST), se logra con las Relación Ap/T de 0.08 y 0.16 con anchos de pulso activo de

200 y 250µs. Esta experimentación permitió ajustar con precisión el rango de los parámetros de estimulación.

En cuanto al umbral de intensidad de corriente para el cual se percibió la primera ST, este resultó muy variable, dependiendo particularmente de la impedancia de la yema del dedo, la cual está en relación directa con las actividades que el individuo realiza habitualmente.

En algunos casos se percibieron sensaciones desagradables al retirar el dedo, debido a que se provoca una alta densidad de corriente al disminuir el área de contacto.

IV. CONCLUSIONES

En La experimentación llevada a cabo con personas ciegas y disminuidas visuales, se logró la percepción de sensaciones táctiles “virtuales”, particularmente se evocó la sensación de presión de manera clara y definida. El estímulo adecuado con el cual se logra la sensación de presión es con relaciones Ap/T de 0.08 y 0.16 con anchos de pulso activo de 200 y 250µs.

Respecto a los valores de corriente, existe un amplio rango de valores que van desde los 0,3mA hasta los 1,6 mA y depende del individuo a estimular. Esta corriente dependerá de la impedancia de la yema del dedo de cada individuo.

REFERENCIAS

1. Cook A, Hussey S. (2003) Assistive Technologies .Principles and Practice. Second Edition. Publisher: C.V. Mosby.
2. Lenay C, Gapenne O, Hanne-ton S. Sensory Substitution: Limits and Perspectives. 2003. Université de Technologie de Compiègne.
3. Vidal-Verdu F, Hafes M.(2007) Graphical Tactile Displays for Visually-Impaired People. IEEE Trans Neural S and Rehab Eng, V15.
4. Asamura N, Tomori N and. Shinoda H. A Tactile Feeling Display Based on Selective Stimulation to Skin Receptors, Proc. IEEE Virtual Reality Annual International Symposium '98, pp.36-42, 1998.
5. N Asamura, N. Yokoyama, y H. Shinoda. “Selectively Stimulating Skin Receptors for Tactile Display”, IEEE Computer Graphics and Applications. pp32-37 Nov- Dec 1998.
6. Kajimoto H, Naoki K., Taro M. and Susumu T. Tactile Feeling Display using Functional Electrical Stimulation, In Proc. of The 9th Int. Conf. on Artificial reality and Telexistence, pp.107-114, 1999.
7. Serra W, Lanzone M., Echenique AM., Graffigna JP: Display Táctil Electrocutáneo. Proceedings XV Congreso Argentino de Bioingeniería. Septiembre 2005. Pág.92. ISBN 950-698-156-6. 4 páginas.
8. Rossini D, Pereyra PF, Echenique AM, Graffigna JP, Ensinn G: Celda Braille por Electroestimulación. IV Congreso Iberdiscap: Tecnologías de Apoyo a la Discapacidad – Vitoria – Brasil – Febrero de 2006. Vol 2 pag. CO103-CO107.
9. Echenique AM, Graffigna JP, Mut V. (2010) Electrocutaneous Stimulation System for Braille Reading. 32nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, (EMBC 2010), 31/8 al 4/09/2010. 4pag 5827-5830 ISBN 978-1-4244-4124-2 : ISSN: 1557-170X