

## Modelo basado en el índice de masa corporal para la determinación de parámetros de estimulación eléctrica transpalpebral

MENESES-FLORES, Arturo Elfego †\*, SACAL-ORTIZ, Mercedes ′, SIMANCAS-ACEVEDO, Eric ′, DANIEL ROBLES-Camarillo ′, NIÑO-DE RIVERA, Luis & OYARZABAL ′′

′Universidad Politécnica de Pachuca  
 ′′Instituto Politécnico Nacional

Recibido: 10 de Julio, 2017; Aceptado 9 de Septiembre, 2017

### Resumen

En el presente artículo se describe el método aplicado para la obtención de cinco modelos estadísticos ( $n=22$ ), que permiten determinar los parámetros físicos de una onda de estimulación eléctrica transpalpebral (EETp). Los modelos correlacionan el índice de masa corporal (IMC), con el voltaje aplicado al párpado inferior de cada voluntario y que permite determinar el umbral de fosfenos eléctricos (UFE). La onda de EETp es generada por un sistema electrónico diseñado en específico para estimulación eléctrica celular, que es gestionado, programado y controlado por una aplicación móvil y servicios web. Se aplicó la EETp únicamente en el párpado inferior del ojo derecho de 22 voluntarios, para registrar sus percepciones visuales subjetivas, con la finalidad de determinar la correlación entre el IMC y el voltaje de EETp, así como probar el desempeño de los protocolos de gestión, programación y control. Los resultados parciales de la presente investigación muestran que existe correlación entre el parámetro de voltaje aplicado y el IMC de cada voluntario, con base en modelos de regresión lineal y desviación estándar para su análisis.

**Estimulación Eléctrica Transpalpebral, Umbral de Fosfenos Eléctricos, Servicios Web**

### Abstract

This paper describes the method used to obtain five statistical models ( $n = 22$ ), which allow the determination of the physical parameters of a transpalpebral electrical stimulation wave (TpES). The models correlate the body mass index (BMI), with the voltage applied to the lower eyelid of each volunteer and that allows to determine the electrical phosphenes threshold (EPT). The TpES wave is generated by an electronic system specifically designed for cellular electrical stimulation, which is managed, programmed and controlled by a mobile application and web services. TpES was applied only to the lower eyelid of the right eye of 22 volunteers, to record their subjective visual perceptions to determine the correlation between the BMI and the TpES voltage, as well as to test the performance of the management, programming and control protocols. The partial results of the present investigation show that there is a correlation between the applied voltage parameter and the BMI of each volunteer, with the base on linear regression models and standard deviation for analysis.

**Transpalpebral Electrical Stimulation, Electrical Phosphene Threshold, Web Services**

**Citacion:** MENESES-FLORES, Arturo Elfego †\*, SACAL-ORTIZ, Mercedes, SIMANCAS-ACEVEDO, Eric, DANIEL ROBLES-Camarillo, NIÑO-DE RIVERA, Luis & OYARZABAL. Modelo basado en el índice de masa corporal para la determinación de parámetros de estimulación eléctrica transpalpebral. Revista de Simulación Computacional 2017. 1-1: 25-32

† Investigador contribuyendo como primer autor.

\* Correspondencia al autor (e-mail: arturomeneses100@gmail.com)

## Introducción

En diversos reportes de resultados experimentales se ha analizado el efecto de rehabilitación de la estimulación eléctrica controlada, al ser aplicada sobre el tejido ocular de forma transcorneal, en pacientes que sufren algún padecimiento que afecta directamente las capacidades de la retina y/o el nervio óptico, como la Retinosis Pigmentaria (RP), Degeneración Macular Relacionada a la Edad (DMRE), Retinopatía Diabética (RD) y Glaucoma [1-3]. Sin embargo, a la fecha no hay reportes de un experimento que analice el umbral de fosfenos eléctricos (EPT, por sus siglas en inglés) con base en las características fisiológicas de los voluntarios y/o pacientes, aplicando la estimulación eléctrica transpalpebral (EETp).

Generalmente se utilizan equipos comerciales adaptados [2], pero también se ha reportado el uso de sistemas electrónicos diseñados en específico [3]. Éstos últimos pueden ser reprogramables y actualizados para aplicación autónoma y ambulatoria [4]. Los experimentos y pruebas que se realizan en el siguiente trabajo, se hacen utilizando un sistema electrónico diseñado para estimulación eléctrica de tejido celular, que es gestionado, programado y controlado a través de servicios web por una aplicación móvil como interfaz.

## Desarrollo

### Estimulador Eléctrico Transpalpebral

Un prototipo previamente probado, ha sido modificado para su aplicación en experimentos de EETp [4]. El prototipo actualmente cuenta con nuevas características de comunicación y programación. La Tabla 1 muestra la comparación con versiones anteriores del mismo [4,5]. En la figura 1 se muestra el diagrama a bloques del circuito del estimulador.

Características	Primer Prototipo	Segundo Prototipo	Prototipo Actual
Forma de onda	Modelada	Modelada Rectangular	Modelada Rectangular
Procesamiento	CPU de PC	Microcontrolador interno	Microcontrador interno
Monitoreo de proceso	Monitor de PC	Monitor de pc, display LCD del prototipo	Aplicación móvil, Monitor de pc, display LCD del prototipo
Comunicación	Cable, estándar IEEE 1284	Inalámbrico, estándar 802.15.4	Inalámbrico estándar 802.15.4 Web 2.0 Bluetooth
Programación	NO	Forma, amplitud, frecuencias y duración	Forma, amplitud, frecuencias, duración, número y días de aplicación.
Dimensiones	90x195x245 mm	30x105x125 mm	25x95x130 mm
Peso	850 g	215 g	155 g
Interfaz	Matlab 6.5	Matlab 7	Android Studio y Matlab R2012a
Capacidad	1 paciente	255 paciente por sistema	1000 pacientes por cada 10 MB de hosting
Numero de electrodos	3	2	2

**Tabla 1** Comparación con versiones anteriores.

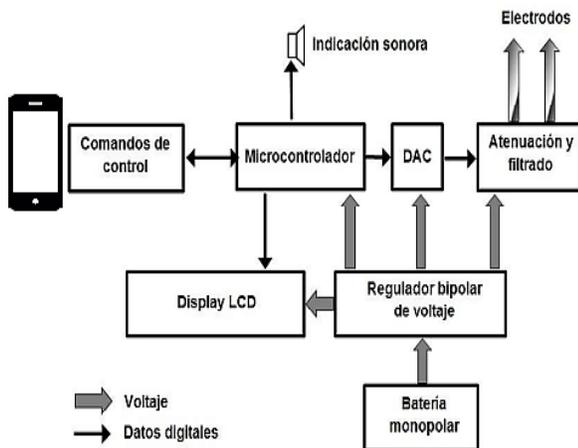
### Aplicación móvil, Servicios web y Bases de datos

Se desarrolló un sistema de gestión de datos para el telecontrol y telemonitoreo del estimulador. Permite también la programación y el control de parámetros vía remota. Los datos de programación serán consumidos por un servicio web usando un dispositivo móvil como interfaz.

Se creó una base de datos dinámica que se adapta a las necesidades específicas del proyecto y que a su vez se vincula con el servicio web, lo que permite su actualización automática una vez que se hacen cambios desde algún cliente autorizado.

El servicio estará restringido por las fechas de aplicación establecidas por el médico (dosis recomendada).

En caso de intentar el acceso fuera de las fechas indicadas, la interfaz móvil no le permitirá al usuario la aplicación de la terapia de estimulación. Asegurando así el estricto control de la terapia.



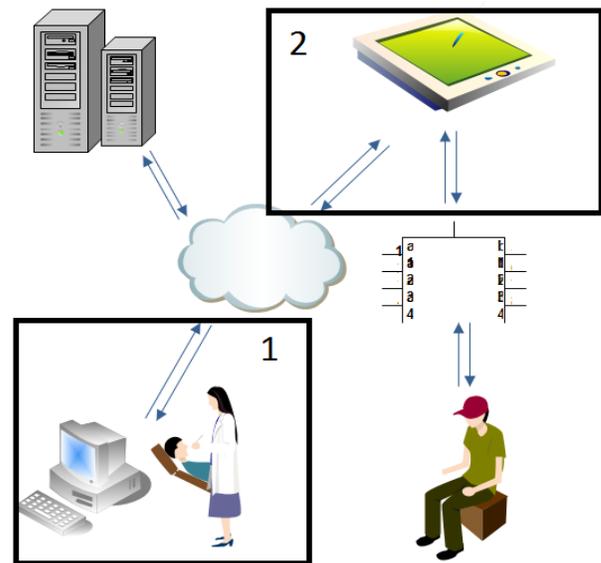
**Figura 1** Diagrama a bloques de funcionamiento de estimulador[4].

Simultáneamente se desarrolló un servicio web que permite actualizar la base de datos generada por el médico, y que será consumida por el cliente reconocido como el dispositivo móvil. Este último, programa y controla el estimulador. El servicio web también hace la validación de credenciales de usuarios registrados y permite o deniega (al cliente) la consulta de la base de datos, de acuerdo con los permisos asignados por el especialista.

En la figura 2 se puede observar el funcionamiento básico del sistema: en el recuadro uno se representa la determinación los parámetros individuales para el paciente, realizada por un médico especialista.

Una vez que el médico tiene los datos propios de cada persona, los actualiza en la base de datos de un servidor a través de internet, por medio de un servicio web.

Posteriormente como se muestra en el recuadro dos, el paciente puede hacer uso del estimulador con apoyo de un dispositivo móvil para aplicarse la EETp. El dispositivo móvil autorizado, puede acceder de manera remota a la base de datos y descargar los parámetros que el experto ya determinó.



**Figura 2** Diagrama de funcionamiento del sistema

### Experimentos con humanos voluntarios

La presente investigación respeta los principios de la declaración de Helsinki [6]. Todos los voluntarios participantes fueron previamente informados con respecto de los objetivos de la investigación, los hallazgos previamente reportados [1-3], los hallazgos esperados y las posibles consecuencias de los experimentos.

Todas las personas que voluntariamente aceptaron participar en el experimento firmaron junto con un testigo el formato de consentimiento informado, en el cual también se asegura la confidencialidad de sus datos personales.

**Criterios de inclusión**

Siguiendo el protocolo de pruebas experimentales aprobado, se incluyeron al experimento 22 voluntarios que no padecen enfermedades crónico-degenerativas como diabetes mellitus, hipertensión, o síndromes asociados al sistema nervioso central, que no padezcan enfermedades crónicas oftálmicas como RP, glaucoma, ni cirugías oftálmicas previas como trabeculectomía, implante de lente intraocular, válvula de glaucoma y/o fotocoagulación laser y que no se encuentren en tratamiento ambulatorio por enfermedad o lesión.

**Toma de medidas antropométricas**

Antes de iniciar el tratamiento experimental, se registró el peso y talla de cada voluntario usando una báscula mecánica para pesar personas con altímetro de uso médico marca BAME modelo 425 lo anterior se hará siguiendo el método y procedimiento estándar [7].

**Colocación de electrodos**

Los electrodos aplicados en la presente investigación para estimular la piel del párpado, son comúnmente utilizados para medir las respuestas de voltaje en pruebas de electroretinografía (ERG) y comúnmente se les llama *gold-cup scalp* (OpenBCI, San Diego California). Los voluntarios serán preparados con los electrodos siguiendo el procedimiento de colocación en pruebas de ERG de acuerdo al estándar ISCEV [8], pero modificado para EETp, como se puede ver en la figura 3.

Previo a la sesión de estimulación, la piel de la cara del voluntario se limpia y exfolia aplicando propanediol 1.2 con algodón estéril. El electrodo de referencia se coloca sobre el lado parietal derecho de la frente y el electrodo de la señal se coloca sobre el párpado inferior del ojo derecho previamente exfoliado.

Ambos electrodos se saturan con polioxietileno 20 (o gel conductivo equivalente) previo a su colocación y se fijan sobre la piel del voluntario con cinta adhesiva microporosa.



**Figura 3** Colocación de electrodos

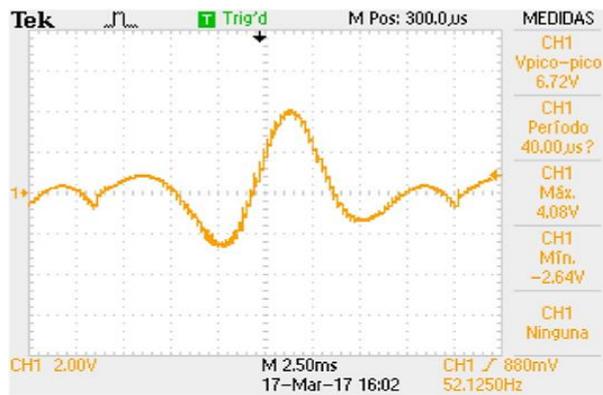
**Determinación de umbrales para cada voluntario**

Una vez configurados los parámetros iniciales de la señal desde la computadora del médico, se programa el estimulador inalámbricamente. La estimulación de prueba será aplicada para determinar el EPT de cada voluntario por primera vez.

La prueba inicial se configura con 1.4V, 10Hz y se aplica al voluntario. Si después de 20 segundos de iniciada la EETp, el voluntario no reporta sensaciones visuales, se prueba con 20Hz y 30Hz, al mismo nivel de voltaje.

En caso de no haber obtenido un reporte afirmativo por parte del voluntario, se incrementa la amplitud en 0.1V hasta el límite de 3.5V, en cada caso se prueba con los 3 valores de frecuencia.

En cada modificación de parámetros se pregunta expresamente al voluntario las percepciones subjetivas que llegue a experimentar, tomando nota de todos los comentarios.



**Figura 4** Forma de onda de voltaje generada por el estimulador para EETp, capturada en un osciloscopio

Cuando el voluntario reporta alguna percepción visual, se toma nota del voltaje y frecuencia aplicados. Dichos parámetros de la señal establecen el EPT del voluntario y serán los datos que se actualizarán en la base de datos que pueden ser consumidos a través del servicio web, para que el dispositivo móvil pueda programar y activar al estimulador.

### Metodología a desarrollar

Se utilizó una metodología de Investigación Experimental que se describe en las siguientes etapas:

1. Planteamiento del objetivo: Quedó definido el objetivo general y los objetivos específicos que se pretenden alcanzar.
2. Reunión de los datos conocidos: Se realizó una investigación de trabajos, tesis y artículos relacionados con el proyecto de investigación y con base en la información recolectada se realizó el estado del arte.
3. Propuesta de una posible solución: Se propuso y creó el sistema de gestión de datos para experimentos de estimulación eléctrica transpalpebral

4. Prueba de la solución: Se utilizó el sistema de gestión de datos desarrollado para la programación de los estimuladores y se realizaron pruebas experimentales con voluntarios humanos para obtener el registro de las percepciones visuales subjetivas y se analizaron los datos obtenidos.
5. Presentación de la solución: Se verificó la funcionalidad de sistema de gestión de datos y se presenta el análisis matemático de los datos obtenidos en los experimentos y la presentación de modelos matemáticos que correlacionan el índice de masa corporal con el voltaje aplicado a los voluntarios.

### Resultados

Con los procedimientos descritos se aplicó la prueba de determinación de EPT para cada voluntario incluido y los resultados se analizan como se describe: El conjunto de datos obtenidos en las pruebas con los 22 voluntarios, se calculó el modelo estadístico que describe su tendencia natural con el método de mínimos cuadrados, mostrado en la ecuación (1) [9].

Para determinar la bondad de cada modelo calculado, se analiza el coeficiente de correlación, el coeficiente de determinación y el error estándar, ente el IMC de los voluntarios y el voltaje de la onda eléctrica, cuando es aplicada en la determinación de EPT.

En la tabla 2 se muestran los modelos obtenidos junto con el error estándar, índice de correlación y el índice de determinación de cada polinomio.

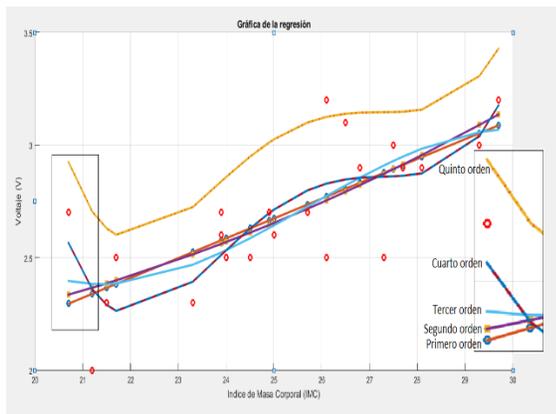
Se obtienen modelos de hasta quinto orden debido a que este último modelo arroja el índice de determinación de 0 y el error estándar se duplica en comparación con los modelos de

orden menor. Por eso se determina que los modelos de orden superior al quinto, no convergen con los datos de la investigación.

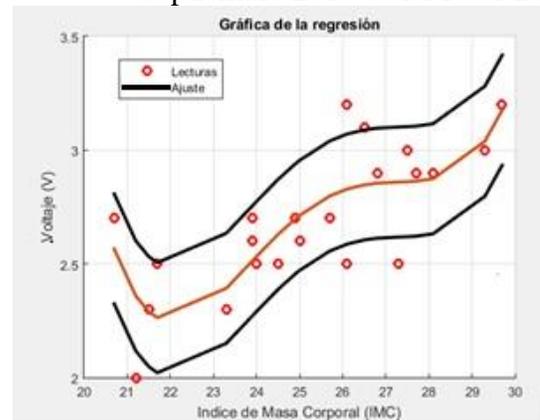
$$S = \sum_{t=0}^m (P(x_i) - y_i)^2 = \sum_{t=0}^m (a_0 + a_1x_i + a_2x_{2i} \dots + a_nx_{ni} - y_i)^2 \quad (1)$$

En la figura 5 se muestra la simulación gráfica de los modelos calculados. En el eje de las abscisas se representa el IMC de los voluntarios y en las ordenadas de muestra el voltaje de la señal aplicada.

El modelo polinomial que menor error estándar, mayor índice de correlación y determinación fue el de cuarto orden. Con el cálculo de la desviación estándar, se obtiene 81.8% de descripción de los datos obtenidos. En la figura 6 se muestra el modelo de cuarto orden y la desviación estándar de forma gráfica. De igual forma en la figura 7 se presenta el modelo de segundo orden que de igual forma que el de quinto orden describe con un 81.8% una vez calculada su desviación estándar a los datos que se obtuvieron en la investigación.



**Figura 5** Representación gráfica de los cinco modelos calculados



**Figura 6** gráfica del modelo cuarto orden, con el índice de correlación más alto ( $r=0.78628$ ).

La línea central es la representación gráfica del polinomio y las líneas superior e inferior representan cada punto del modelo más/menos la desviación estándar. Los puntos circulares describen el conjunto de pares ordenados usados para calcular el modelo, así como la relación de IMC contra voltaje que provoca EPT para cada voluntario.

Para verificar la certeza de los modelos propuestos, se probó con el IMC y el nivel de voltaje correspondiente a dos voluntarios más, que no fueron incluidos para la obtención de los modelos de la tabla 2.

En la figura 7 los pares ordenados de dichos voluntarios están representados por cuadros en la gráfica y es posible verificar que se encuentran dentro de los límites establecidos por la desviación estándar de los modelos de segundo y cuarto orden. Lo anterior permite afirmar que el análisis de tendencia que describe el método de mínimos cuadrados, puede ser aplicado como modelo para establecer los parámetros de la señal eléctrica aplicada en EETp, con fines de terapia experimental.

El sistema de gestión desarrollado funciona eficientemente para los fines propuestos y hasta el momento de la investigación no se ha encontrado reporte de análisis similares para EETp. Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

Grado	Polinomio	Error estándar	Índice de determinación ( $r^2$ ) Índice de correlación (r)
1°	$0.088X + 0.4728$	0.21379	$r^2$ 0.54053 $r$ 0.73520
2°	$0.0032X^2 + 0.0709X - 2.4441$	0.21814	$r^2$ 0.54557 $r$ 0.73863
3°	$-0.0022X^3 + 0.166X^2 - 4.1474X + 36.2077$	0.22105	$r^2$ 0.55793 $r$ 0.74695
4°	$0.0023X^4 - 0.2367X^3 + 9.0325X^2 - 125.3406X + 960.2541$	0.21137	$r^2$ 0.61824 $r$ 0.78628
5°	$-0.0005X^5 + 0.0167X^4 + 1.0e+03 * 1.4310 - 0.2473X$	0.42269	$r^2$ -0.4368 $r$ 0

Tabla 2 Modelos obtenidos

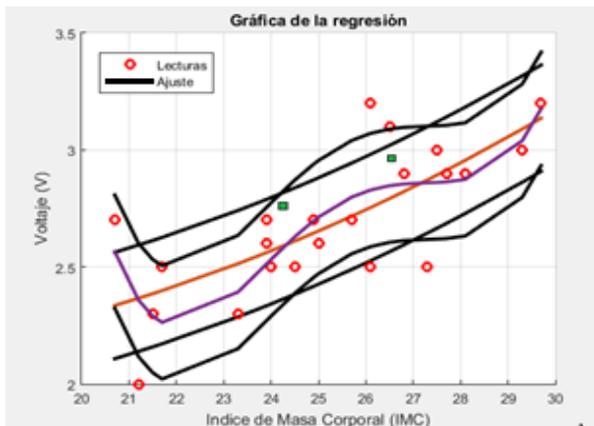


Figura 7 Gráfica verificación de modelos

## Agradecimiento

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por su apoyo en la presente investigación a través de la beca de Posgrados Nacionales número 712025.

## Conclusiones

Los resultados presentados en esta investigación no son concluyentes, pues el tamaño de la muestra utilizado para el cálculo de los modelos es reducido ( $n = 22$ ). El modelo que arroja mayor índice de correlación es el de cuarto orden, pero el modelo de segundo orden también permite caracterizar al 81.8% del grupo muestral.

## Referencias

- [1] T. Morimoto, T. Miyoshi, S. Matsuda, Y. Tano, T. Fujikado, y Y. Fukuda, "Transcorneal Electrical Stimulation Rescues Axotomized Retinal Ganglion Cells by Activating Endogenous Retinal IGF-1 System", *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, vol. 46, núm. 6, pp. 2147–2155, jun. 2005.
- [2] K. Inomata et al., "Transcorneal electrical stimulation of retina to treat longstanding retinal artery occlusion", *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.*, vol. 245, núm. 12, pp. 1773–1780, dic. 2007.
- [3] M. J. Lopez-Miranda et al., "Transcorneal Electrical Stimulation in Patients With Retinitis Pigmentosa", *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, vol. 51, núm. 13, pp. 1356–1356, abr. 2010.
- [4] "Sistema teleoperado para estimulación eléctrica transcorneal de señales múltiples". [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/291153425\\_Sistema\\_teleoperado\\_para\\_estimulacion\\_electrica\\_transcorneal\\_de\\_senales\\_multiples](https://www.researchgate.net/publication/291153425_Sistema_teleoperado_para_estimulacion_electrica_transcorneal_de_senales_multiples). [Consultado: 07-jul-2017].
- [5] Robles Camarillo, Daniel. Modelo adaptable de generacion de formas de onda y reconstruccion de imagen para excitacion celular en la retina humana. 2009. Tesis de Maestría.

- [6] D. D. H. De La Asociación, “Médica Mundial”, *Adopt. Por*, vol. 18, pp. 2–3, 2008.
- [7] R. T. Conyer, O. V. Monroy, A. L. Esqueda, F. T. Olarte, Y. M. Marroquín, y M. A. C. Salazar, “Dr. Julio Frenk Mora”, 2002.
- [8] Robles-Camarillo, D., Niño-de-Rivera, L., Quiroz Mercado, H. and López-Miranda, M.J. Distributed retinal response model based on adaptive system. *Proceedings of the BIOSIGNAL 2006*, Brno, 352-354, (2006).
- [9] CHAPRA, Steven C. Canale; CHAPRA, RAYMOND P. Steven C.; CANALE, Raymond P. *Métodos numéricos para ingenieros*. McGraw-Hill, 2007.