

Volumen I, Número I – Julio – Septiembre - 2017

ISSN 2523-6865

# Revista de Simulación Computacional

**ECORFAN®**



**ECORFAN-Taiwán**

## **Indización**

- Research Gate
- Google Scholar
- Hispana
- Mendeley

## **ECORFAN-Taiwán**

### **Directorio Principal**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD.

### **Director Regional**

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD.

### **Director de la Revista**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC.

### **Edición Tipográfica**

FLORES-PIGUAVE, Eileen. BsC.

ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC.

### **Edición de Logística**

CORTES-MUÑOZ, Sleither. BsC.

Revista de Simulación Computacional, Volumen 1, Número 1, de Julio a Septiembre 2017, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Taiwán. Taiwan, Taipei. YongHe district, ZhongXin, Street 69. Postcode: 23445. WEB: [www.ecorfan.org/taiwan](http://www.ecorfan.org/taiwan), [revista@ecorfan.org](mailto:revista@ecorfan.org). Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María. ISSN: 2523-6865. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN, Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 30 de Septiembre 2017.

Las opiniones expresadas por los autores no reflejan necesariamente las opiniones del editor de la publicación.

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Instituto Nacional de defensa de la competencia y protección de la propiedad intelectual.

## **Consejo Editorial**

BELTRÁN-MIRANDA, Claudia. PhD.  
Universidad Industrial de Santander, Colombia

BELTRÁN-MORALES, Luis Felipe. PhD.  
Universidad de Concepción, Chile

RUIZ-AGUILAR, Graciela. PhD.  
University of Iowa, U.S.

SOLIS-SOTO, María. PhD.  
Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca, Bolivia

GOMEZ-MONGE, Rodrigo. PhD.  
Universidad de Santiago de Compostela, España

ORDÓÑEZ-GUTIÉRREZ, Sergio. PhD.  
Université Paris Diderot-Paris, Francia

ARAUJO-BURGOS, Tania. PhD.  
Universita Degli Studi Di Napoli Federico II, Italia

SORIA-FREIRE, Vladimir. PhD.  
Universidad de Guayaquil, Ecuador

## **Consejo Arbitral**

VGPA. MsC.

Universidad Nacional de Colombia, Colombia

EAO. MsC.

Universidad Nacional de Colombia, Colombia

MMD. PhD.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México

BRIIIG. PhD.

Bannerstone Capital Management, U.S.

EAO. MsC.

Bannerstone Capital Management, U.S.

OAF. PhD.

Universidad Panamericana, México

CAF. PhD.

Universidad Panamericana, México

RBJC. MsC.

Universidad Panamericana, México

## Presentación

ECORFAN, es una revista de investigación que publica artículos en el área de: Revista de Simulación Computacional.

En Pro de la Investigación, Enseñando, y Entrenando los recursos humanos comprometidos con la Ciencia. El contenido de los artículos y opiniones que aparecen en cada número son de los autores y no necesariamente la opinión de la Editora en Jefe.

Como primer artículo está *Diseño y desarrollo de un sistema de telemetría para el internet de las cosas en la agricultura de precisión* por HERNÁNDEZ-SALAZAR, Jorge, RAMOS-FERNÁNDEZ, Julio, MÁRQUEZ-VERA, Marco, PESSÉL-Nathalie & BALMAT, Jean con adscripción *Universidad Politécnica de Pachuca & University of South-Toulon-Var*, como siguiente artículo está *Intervalo difuso tipo 2 con aprendizaje aplicado en control* por MÁRQUEZ-VERA, Marco Antonio, ZÚÑIGA-PEÑA, Nadia Samantha, RAMOS-VELASCO, Luis Enrique con adscripción *Universidad Politécnica de Pachuca & Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo*, como siguiente artículo está *Método de esteganálisis adaptivo a las características de las imágenes* por RAMÍREZ-RODRÍGUEZ, Ana Elena, JUÁREZ-SANDOVAL, Ulises, NAKANO-MIYATAKE, Mariko, CEDILLO-HERNÁNDEZ, Manuel con adscripción *Universidad Politécnica de Pachuca*, como siguiente artículo está *Modelo basado en el índice de masa corporal para la determinación de parámetros de estimulación eléctrica transpalpebral* por MENESES-FLORES, Arturo Elfego, SACAL-ORTIZ, Mercedes, SIMANCAS-ACEVEDO, Eric, DANIEL ROBLES-Camarillo, NIÑO-DE RIVERA, Luis & OYARZABAL con adscripción *Universidad Politécnica de Pachuca e Instituto Politécnico Nacional*.

## Contenido

| Artículo   | Página |
|--|--------|
| <b>Diseño y desarrollo de un sistema de telemetría para el internet de las cosas en la agricultura de precisión</b><br>HERNÁNDEZ-SALAZAR, Jorge, RAMOS-FERNÁNDEZ, Julio, MÁRQUEZ-VERA, Marco, PESSEL-Nathalie & BALMAT, Jean   | 1-8    |
| <b>Intervalo difuso tipo 2 con aprendizaje aplicado en control</b><br>MÁRQUEZ-VERA, Marco Antonio, ZÚÑIGA-PEÑA, Nadia Samantha, RAMOS-VELASCO, Luis Enrique  | 9-17   |
| <b>Método de esteganálisis adaptivo a las características de las imágenes</b><br>RAMÍREZ-RODRÍGUEZ, Ana Elena, JUÁREZ-SANDOVAL, Ulises, NAKANO-MIYATAKE, Mariko, CEDILLO-HERNÁNDEZ, Manuel   | 18-24  |
| <b>Modelo basado en el índice de masa corporal para la determinación de parámetros de estimulación eléctrica transpalpebral</b><br>MENESES-FLORES, Arturo Elfego, SACAL-ORTIZ, Mercedes, SIMANCAS-ACEVEDO, Eric, DANIEL ROBLES-Camarillo, NIÑO-DE RIVERA, Luis & OYARZABAL | 25-32  |

*Instrucciones para Autores*

*Formato de Originalidad*

*Formato de Autorización*

## **Diseño y desarrollo de un sistema de telemetría para el internet de las cosas en la agricultura de precisión**

HERNÁNDEZ-SALAZAR, Jorge †, RAMOS-FERNÁNDEZ, Julio \*, MÁRQUEZ-VERA, Marco †, PESSÉL-Nathalie † & BALMAT, Jean †

†Universidad Politécnica de Pachuca

†University of South-Toulon-Var

Recibido: 18 de Julio, 2017; Aceptado 12 de Septiembre, 2017

### **Resumen**

**Planteamiento:** El presente artículo describe el diseño y fabricación de un sistema de telemetría para la agricultura de precisión con el objetivo de monitorear el riego automático de una producción agrícola en invernadero, tomando como indicativo la evapotranspiración de una planta de referencia.

**Metodología:** Se desarrolló un módulo de adquisición de variables de bajo costo que lleva a cabo la captura y procesamiento de las variables de microclima presentes en el invernadero; posteriormente con la implementación de un servidor alojado en internet se garantiza la disponibilidad de la información desde cualquier parte del mundo, a la que se puede acceder a través de una conexión a internet.

**Conclusión:** La principal ventaja del desarrollo del sistema de telemetría es que a través de la integración de nuevas tecnologías basadas en la TIC, permite el monitoreo automático y en tiempo real del riego agrícola y así mismo proporcionan la ayuda necesaria para tomar las mejores decisiones en beneficio de la producción agrícola.

**Agricultura de Precisión, Evapotranspiración, Internet, Riego, Telemetría**

### **Abstract**

**Approach:** The present article describes the design and manufacture of a telemetry system for precision agriculture with the objective of monitoring the automatic irrigation of agricultural production in greenhouses, which takes as an indication the evapotranspiration of a reference plant.

**Methodology:** A low-cost variable acquisition module was developed that performs the capture and processing of microclimate variables present in the greenhouse; later with the implementation of a server hosted on the internet, the availability of information is guaranteed from anywhere in the world, which can be accessed through an internet connection.

**Conclusion:** The main advantage of the development of the telemetry system is that, through the integration of new ICT-based technologies, it allows the automatic and real-time monitoring of agricultural irrigation and also provides the necessary help to make the best decisions for the benefit of agricultural production.

**Precision Agriculture, Evapotranspiration, Internet, Irrigation, Telemetry**

**Citación:** HERNÁNDEZ-SALAZAR, Jorge †, RAMOS-FERNÁNDEZ, Julio \*, MÁRQUEZ-VERA, Marco, PESSÉL-Nathalie & BALMAT, Jean. Diseño y desarrollo de un sistema de telemetría para el internet de las cosas en la agricultura de precisión. Revista de Simulación Computacional 2017. 1-1: 1-8

† Investigador contribuyendo como primer autor.

\* Correspondencia al autor (email: jramos@upp.edu.mx)



## Introducción

El rápido desarrollo de la ciencia y la tecnología en el campo de la electrónica y las comunicaciones, ha permitido que los últimos años sea más accesible el tráfico de información entre personas y equipos, como resultado del progreso tecnológico y la evolución de las computadoras, la aplicación de las telecomunicaciones es cada vez más utilizada para comunicar, monitorear y controlar a distancia procesos industriales, agrícolas y de la vida cotidiana.

El concepto de Internet de las Cosas (*IoT*, *Internet of Things*), fue introducido por primera vez por el profesor Ashton cuando se encontraba realizando una investigación sobre Identificación por Radio Frecuencias (*RFID*, *Radio Frequency Identification*) en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (Haller, Karnouskos, & Schroth, 2008).

El *IoT* describe un escenario en el que todos los dispositivos que tengan la capacidad de conectarse a internet a través de redes fijas o inalámbricas se puedan vincular entre sí, de esta manera permite visualizar situaciones en tiempo real y facilita la toma de decisiones de manera remota. Algunas de las aplicaciones más comunes del *IoT* es en el área de domótica, cuidado de salud, negocios, entre otras (Miorandi, Sicari, De Pellegrini, & Chlamtac, 2012).

La Agricultura de Precisión (AP) engloba un conjunto de técnicas, herramientas y materiales en la producción de los cultivos con el propósito de obtener altos rendimientos. La AP se ha convertido en la integración de tecnología efectiva para la modernización de la producción agrícola, siendo uno de sus propósitos la adquisición e integración de la información digital del proceso productivo para garantizar su calidad (Kropff, Wallinga, & Lotz, 2007), (Minbo, Zhu, & Guangyu, 2013).

Una de las tecnologías de mayor uso en el campo de la AP es el uso de Redes de Sensores Inalámbricos (*WSN*, *Wireless Sensor Network*) conformada por dispositivos electrónicos capaces de medir las principales variables que interactúan en un entorno controlado (Coates, Delwiche, Broad, & Holler, 2013).

El uso de *WSN* permite identificar y predecir el comportamiento del sistema a partir del análisis funcional de las variables y así definir estrategias de control para el microclima en invernaderos, tal como se muestra en (Touati, Al-Hitmi, Benhmed, & Tabish, 2013). Lo que influye directamente en la reducción de los costos de producción y una gestión agrícola más respetuosa con el medioambiente (Burgos-Artizzu, Ribeiro, & de Santos, 2007).

Las redes inalámbricas permiten el despliegue de sensores y actuadores, que facilitan el monitoreo y control de manera autónoma en invernaderos y campos de producción agrícola (Goumopoulos, O'Flynn, & Kameas, 2014).

El internet es el medio de transmisión de información por excelencia, ha cambiado el mundo de la computación de una manera favorable. Ha evolucionado desde el concepto de computación paralela a *Cloud Computing* (Jadeja & Modi, 2012).

La computación en la nube, es una nueva forma de aplicación para el internet y una tendencia reciente en la TIC (Tecnologías de la Información y Comunicaciones) (Mejia, 2011).

El campo de la agricultura es un sector que cada vez más, incorpora tecnología en los procesos de producción, esto debido a las ventajas que ofrece el control a distancia.

## Análisis de requerimientos

En (Goumopoulos, O'Flynn, & Kameas, 2014), (Bartlett, Andales, Arabi, & Bauder, 2015), (Sesma, Molina-Martínez, Cavas-Martínez, & Fernández-Pacheco, 2015) se muestra la implementación de redes de sensores y la utilización de aplicaciones en dispositivos móviles para la manipulación a distancia de diferentes actuadores. El presente trabajo describe el diseño y desarrollo de un sistema de telemetría para el monitoreo del riego automático y de variables de microclima en invernaderos de manera remota, en el cual se integran múltiples tecnologías basadas en la TIC como redes, comunicaciones y servicios *Web*. El sistema consiste de un módulo de adquisición de variables que se encarga de capturar y procesar los datos de un invernadero experimental, que posteriormente son enviados a un servidor *Web* el cual cumple el objetivo de almacenar la información en internet, y asegurar la disponibilidad de los datos en cualquier momento que sean requeridos por el usuario final para su estudio. En la sección dos se describen los materiales y herramientas necesarias para el desarrollo del módulo de adquisición de variables de microclima y servidor *web*. La sección tres muestra los resultados generados de la implementación del sistema de telemetría y en la sección cuatro se observan las principales conclusiones del sistema.

## Materiales y Métodos

Para la elaboración y diseño del sistema de telemetría aplicado a la AP se identificaron tres etapas de desarrollo, las cuales consistieron en a) Identificar los requerimientos que debía satisfacer el prototipo, con el objetivo de establecer los materiales (*Hardware*) y herramientas (*Software*) a utilizar para el desarrollo tecnológico, b) Diseño y fabricación del módulo de adquisición de variables de microclima y del servidor *Web* para el *IoT*, y c) Implementación del sistema de telemetría en tiempo real.

Para el desarrollo del módulo de adquisición de variables se eligió el *Hardware* que se indica en la Tabla 1, útiles para medir el microclima, transmitir y almacenar localmente las siguientes variables: temperatura, humedad relativa, radiación infrarroja, medición indirecta de la masa evapotranspirada de la planta, resistividad eléctrica del sustrato y Déficit de Presión de Vapor (VPD), esta última como indicativo para evaluar condiciones que pueden propiciar enfermedades y plagas (Ramos-Fernández, López-Morales, Lafont, Enea, & j, 2010).

| Materiales              | Descripción   |
|-------------------------|---|
| HX711                   | Convertidor Analógico-Digital de 24 bits de resolución, diseñado para celdas de carga |
| RTC DS 1302             | Integrado de reloj de tiempo real   |
| Infrarrojo omega OS136  | Dispositivo para medir la radiación infrarroja del cultivo                            |
| Sensor de humedad YL-39 | Integrado para medir la resistividad del sustrato                                     |
| Módulo de memoria SD    | Modulo para respaldo local de información   |
| DHT22                   | Sensor para medir temperatura y humedad relativa                                      |
| Balanza Sartorius       | Balanza industrial de 70 kg con legibilidad de 0.1g                                   |
| Bomba brushless         | Bomba de agua sumergible  |
| Router de 4 puertos     | Permite la comunicación a la red local e internet                                     |

**Tabla 1** Elección del Hardware para el desarrollo del módulo de adquisición de variables de microclima.

Para la construcción del servidor *Web* se realizó la elección del Software necesario que permitiera la gestión, almacenamiento y disponibilidad de la información recolectada, para ser utilizada por el usuario final. Dichos componentes se encuentran detallados en la Tabla 2, donde se describen algunas características deseadas.

### Diseño y fabricación

En esta etapa de desarrollo se llevó a cabo la integración de los diferentes componentes para el módulo de adquisición de variables como se muestra en la Figura 1, que permite medir el microclima del volumen de producción y la masa de agua evapotranspirada de una planta de referencia de la producción total, para llevar a cabo de manera automática la irrigación de la producción agrícola en invernadero a partir de las necesidades hídricas de la planta.

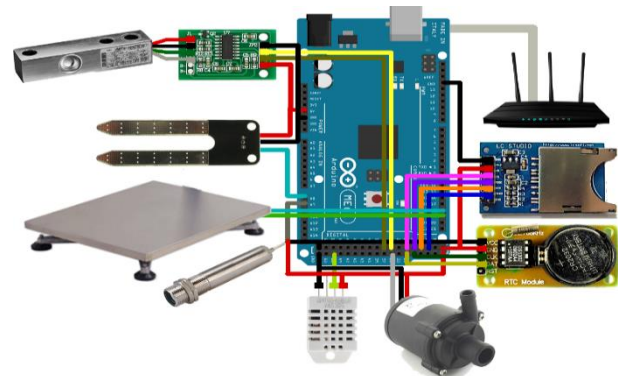
| Herramientas   | Descripción   |
|--|---|
| Servidor Apache  | Servidor <i>Web</i> modular, de código abierto, extensible, multiplataforma y popular (Apache Software, 2016).  |
| Lenguajes de desarrollo web (PHP, HTML)                  | Estas herramientas permiten el desarrollo <i>Web</i> del lado del servidor y la elaboración de páginas <i>Web</i> (Cobo, Gómez, Pérez, & Rocha, 2005), (Raggett, Le Hors, & Jacobs, 1999).  |
| Manejador de Base de Datos (MySQL)                       | Herramienta de código abierto de excelente portabilidad, seguridad, escalabilidad y conectividad (MySQL, 2017).   |
| Protocolos de comunicación (TCP/IP, 802.11n, HTTP, REST) | Protocolos utilizados para proveer conectividad de extremo a extremo, así como proporciona la conexión inalámbrica, gestionar la transferencia de información en la <i>World Wide Web</i> e intercambiar datos entre diferentes aplicaciones (Estrada-Corona, 2004), (TP-LINK, 2011), (Khare, 1996), (Chanchí, Campo, & Amaya, 2011). |

**Tabla 2** Elección del software para el desarrollo del servidor web.

El módulo de adquisición de variables de microclima utilizado en este estudio fue desarrollado con tarjetas programables, basada en el microcontrolador Atmel ATMEGA2560, y electrónica básica, esta plataforma fue elegida por su bajo costo integración de componentes electrónicos fácil y programación en lenguaje C (Arduino, 2015).

El sistema fue alimentado directamente de una toma de corriente eléctrica y un regulador con salida de 12 volts. El sistema consistió de una tarjeta *Ethernet Shield* conectada directamente a un router de cuatro puertos que permitió la conectividad inalámbrica para la transferencia de información a la red.

Un compartimento para tarjetas de memoria en formato SD (*Secure Digital*) utilizada para crear copias de seguridad de manera local. Múltiples reguladores de corriente (LM7805) para la alimentación de los diferentes dispositivos. La recolección de las muestras fue llevada a cabo por los diferentes sensores, con intervalos de transferencia de cinco minutos entre cada una de ellas, esta información se transmite en paralelo hacia el servidor *Web* y una estación base local. El sistema utiliza una topología de red en estrella, lo que significa que todos los nodos transmiten de manera simultánea los parámetros capturados al *Host* destino. De igual manera se desarrolló una arquitectura de tráfico de información como se observa en la Figura 2. En la parte inferior de la imagen se puede apreciar una *WSN* y en la parte superior se observa el servidor *Web*, este último utiliza como plataforma de comunicación un alojamiento *Web*, el *Software* del fabricante ofrece un manejador de base de datos MySQL y un servidor Apache que cumple con las características que se muestran en la Tabla 2.

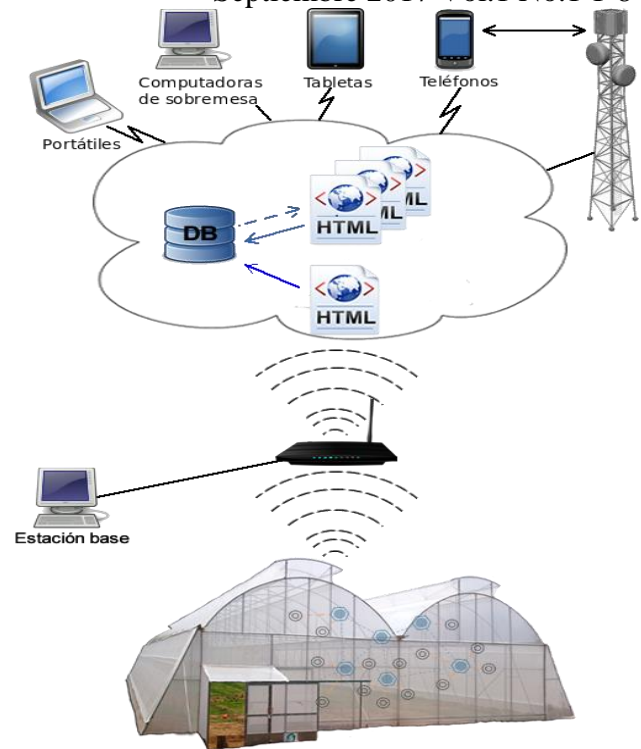


**Figura 1** Esquema de integración de componentes para módulo de adquisición de variables.

Se agregaron cuatro programas escritos en lenguaje de programación PHP (*PHP Hypertext Preprocessor*) y HTML (*HyperText Markup Language*) en los que se realiza lo siguiente: 1) Permite leer y escribir en la Base de Datos (DB) las variables del microclima enviadas por el Arduino a través de una petición GET, 2) Permite visualizar las variables de microclima en tiempo real a través de una interfaz gráfica de usuario (Página Web), el programa realiza consultas SQL (*Structured Query Language*) sobre la DB, que devuelve la información solicitada por el usuario, la información es representada en forma de graficas de línea, 3) Lleva a cabo la gestión y notificación de mensajería móvil vía SMS (*Short Message Service*) ofrecido por un operador de servicios móviles, cada vez que se genera un riego, la información es enviada a través de una petición GET y 4) Ofrece la gestión para entablar comunicación entre la DB y una aplicación móvil para sistema operativo Android, esta aplicación para teléfonos inteligentes realiza peticiones JSON con consultas SQL para la visualización de las variables de microclima, la información es presentada en forma de texto.

### Implementación

En esta etapa de desarrollo se llevó a cabo la implementación del sistema de telemetría el cual fue instalado en un invernadero experimental dedicado exclusivamente a la producción de tomate, ubicado en la localidad de San Miguel la Higa, situado en el municipio de Mineral de la Reforma en el estado de Hidalgo, el resultado de esta etapa de desarrollo se describe a mayor detalle en la sección de “Resultados y discusión” donde se muestra la funcionalidad en tiempo real del sistema.



**Figura 2** Arquitectura propuesta para el sistema de telemetría.

### Resultados y discusión

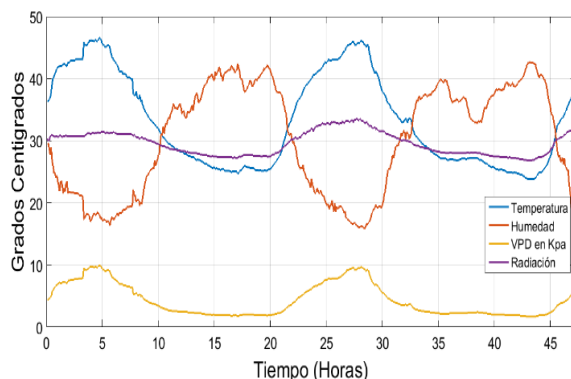
A partir del desarrollo del módulo de adquisición de variables de microclima se generó una base de datos con importante cantidad de información sobre el comportamiento y la dinámica bioclimática de un invernadero experimental como se puede ver en el Grafico 1.

Con ayuda del lisímetro de balanza implementado en el módulo de adquisición, se monitoreó de manera continua la evapotranspiración de una planta de referencia de la producción total, este método se utilizó para determinar la cantidad de agua perdida por el proceso de evapotranspiración como se observa en el Grafico 2 y con ello poder definir la cantidad de agua a regar en la producción total, al final de cada día se aplicaron riegos para compensar la cantidad de agua perdida , agregando un 10% para generar dren y eliminar sales minerales presentes en el sustrato.

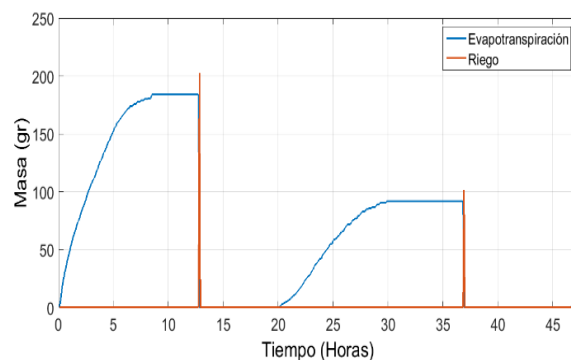
Si durante el transcurso del día la disponibilidad de agua del sustrato se encontraba por debajo del 40% como se expone en (Escalona, Alvarado, Monardes, Urbina, & Martín, 2009) se aplicaron riegos complementarios, esta información se puede conocer a partir de la calibración de los electrodos de continuidad como se aprecia en el Grafico 3, este proceso permite mantener la planta en un estado de saturación hídrica. Utilizando diferentes mediciones de la masa de agua agregada en gramos (gr) y el tiempo de encendido de la bomba en segundos (s), se caracterizó el caudal entregado por la bomba de acuerdo con (1).

$$Q(t) = \begin{cases} 66.16949 * t - 0.4745; & \text{si bomba} = 1, \\ 0; & \text{si bomba} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

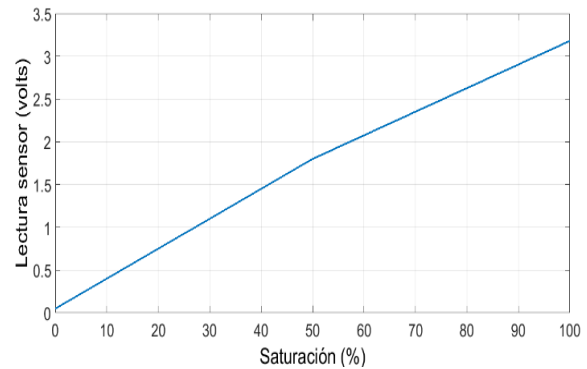
Donde  $Q(t)$  es el caudal entregado por la bomba medido en gramos por segundo ( $gr/s$ ).



**Grafico 1** Comportamiento de las principales variables de microclima.



**Grafico 2.** Comportamiento de la evapotranspiración y riego.



**Grafico 3** Calibración del sensor de continuidad.

La experimentación para determinar si el método utilizado para regar la producción total del invernadero era eficiente, se comprobó con la fórmula de balance de masas (2).

$$M_{evap} = M_o + M_{agre} - M_f - M_{dren} \quad (2)$$

Donde,  $M_{evap}$  es masa evapotranspirada,  $M_o$  en la masa inicial,  $M_{agre}$  corresponde a la masa agregada durante cada riego,  $M_f$  es la masa final y  $M_{dren}$  es la masa drenada. El desarrollo del servidor *Web* permitió instalar múltiples servicios *Web*, uno de estos servicios ofrecidos es la página *Web* (<http://comgara.xyz/>) la cual ofrece la visualización de las variables de microclima de manera gráfica y en tiempo real, este sitio *Web* es de gran ayuda para el usuario final ya que ofrece la impresión y descarga de la misma en formato JPEG, PNG y PDF. La *app* para dispositivos móviles cuenta con cuatro ventanas como se observa en la Figura 3, se puede navegar a partir de un menú de opciones ubicado en la parte superior derecha, la cual vincula a la ventana de las variables del microclima y la ventana del registro de los riegos efectuados en el invernadero. Esta aplicación para dispositivos móviles es atractiva para los productores agrícolas al proporcionar acceso eficaz a la información de las variables de microclima presentes en el invernadero. El uso de la herramienta móvil tiene la ventaja de ser una plataforma portátil y fácilmente accesible.



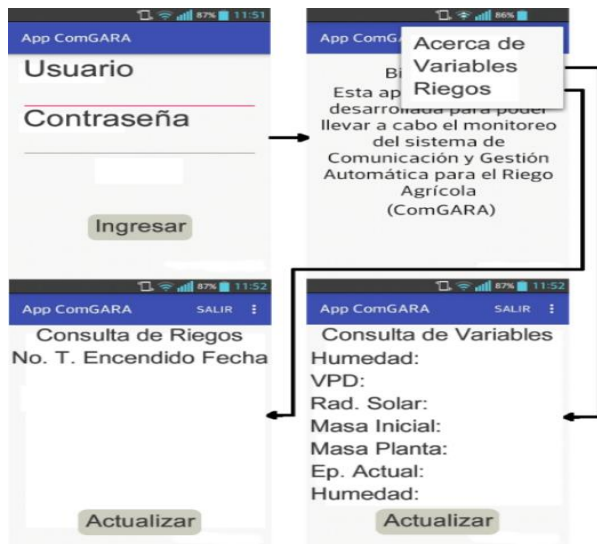


Figura 3 Ventanas de navegación de la aplicación móvil

## Conclusiones

El desarrollo del módulo de adquisición de variables para la agricultura de precisión ofrece una solución rápida, de bajo costo y fácil de elaborar, que permite el monitoreo de variables de microclima en tiempo real dentro de un entorno controlado. Mediante el monitoreo de la humedad del suelo, variables climáticas y balance de masas para determinar la cantidad de agua perdida por el proceso de evapotranspiración, el sistema es capaz de compensar de manera automática el agua perdida más un 10% para generar dren. Del mismo modo proporciona apoyo extra al usuario final para que a partir de su propia experiencia sea capaz de tomar decisiones de manera oportuna. La base de datos con información sobre las variables de microclima define el comportamiento y dinámica del sistema, esta base de datos puede ser utilizada para realizar aprendizaje y definir modelos de predicción de eventos. El desarrollo del servidor *Web* y la implementación y desarrollo de múltiples servicios *Web* proporciona la disponibilidad de la información desde cualquier lugar del mundo donde se cuente con acceso a internet, lo que la convierte en una plataforma eficaz para llevar a cabo la incorporación de múltiples servicios.

La aplicación para dispositivos móviles y la página *Web* proporcionan un medio rápido para que el usuario final pueda acceder a la información.

La aplicación de los riegos de manera controlada, racionada y oportuna en la producción agrícola, permite el uso más efectivo de un recurso muy importante dentro de la agricultura de precisión como lo es el agua.

## Agradecimientos

Jorge Adalberto Hernández Salazar, con número de CVU 713181, agradece al CONACyT por el apoyo brindado durante la realización de este trabajo de investigación.

## Referencias

- Apache Software, F. (2016). Apache HTTP Server Project. Obtenido de <http://httpd.apache.org/>
- Arduino. (2015). Introduction to Arduino. Obtenido de <https://www.arduino.cc/>
- Bartlett, C., Andales, A. A., Arabi, M., & Bauder, T. A. (2015). A smartphone app to extend use of a cloud-based irrigation scheduling tool. *Computers and Electronics in Agriculture*, (111) 127-130.
- Burgos-Artizzu, X. P., Ribeiro, A., & de Santos, M. (2007). Controlador borroso multivariable para el ajuste de tratamientos en agricultura de precisión. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIA*, 4 (2) 64-71.
- Chanchí, G. E., Campo, W. Y., & Amaya, J. P. (2011). Esquema de servicios para Televisión Digital Interactiva, basados en el protocolo REST-JSON. *Cadernos de Informática*, 6(1).

Coates, R., Delwiche, M., Broad, A., & Holler, M. (2013). Wireless sensor network with irrigation valve control. *Computers and Electronics in Agriculture*, 13-22.

Cobo, Á., Gómez, P., Pérez, D., & Rocha, R. (2005). *PHP y MySQL: Tecnología para el desarrollo de aplicaciones web* Primera edición. España: Ediciones Díaz de Santos.

Escalona, V., Alvarado, P., Monardes, H., Urbina, C., & Martín, A. (2009). *Manual del cultivo de tomate*.

Estrada-Corona, A. (2004). Protocolos TCP/IP de Internet. *Revista Digital Universitaria*, 5(8). Obtenido de <http://www.revista.unam.mx/vol.5/num8/art51/art51.htm>

Goumopoulos, C., O'Flynn, B., & Kameas, A. (2014). Automated zone-specific irrigation with wireless sensor/actuator network and adaptable decision support. *Computers and Electronics in Agriculture*, (105) 20-33.

Haller, S., Karnouskos, S., & Schroth, C. (2008). The Internet of Things in an Enterprise Context. *Future Internet Symposium*, 14-28.

Jadeja, Y., & Modi, K. (2012). Cloud computing-concepts, architecture and challenges. *Computing, Electronics and Electrical Technologies (ICCEET) IEEE*, 877-880.

Khare, R. (1996). PEP: An Extension Mechanism for HTTP/1.1. Obtenido de <https://www.w3.org/TR/WD-http-pep-960222>

Kropff, M. J., Wallinga, J., & Lotz, L. A. (2007). Modelling for Precision Weed Management Precision Agriculture: Spatial and Temporal Variability of Environmental Quality” (in Ciba Foundation Symposium 210), 182-204.

Mejia, O. (2011). Computación en la nube. *ContactoS*, (80) 45-52.

Minbo, L., Zhu, Z., & Guangyu, C. (2013). Information Service System Of Agriculture IoT. *Automatika*, 415-426.

Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F., & Chlamtac, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, 10(7) 1497-1516.

MySQL. (2017). *MySQL Reference Manual*. Obtenido de <https://dev.mysql.com/doc/refman/5.7/en/features.html>

Raggett, D., Le Hors, A., & Jacobs, I. (1999). HTML 4.01 Specification. Obtenido de <http://webx.ubi.pt/~hgil/utills/HTML/html40.pdf>

Ramos-Fernández, J. C., López-Morales, V.,

Lafont, F., Enea, G., & j, D. (2010). Una estructura neurodifusa para modelar la evapotranspiración instantánea en invernaderos. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 11(2) 127-139.

Sesma, J., Molina-Martínez, J. M., Cavas-Martínez, F., & Fernández-Pacheco, D. G. (2015). A mobile application to calculate optimum drip irrigation laterals. *Agricultural Water Management*, (151) 13-18.

Touati, F., Al-Hitmi, M., Benhmed, K., & Tabish, R. (2013). A fuzzy logic based irrigation system enhanced with wireless data logging applied to the state of Qatar. *Computers and electronics in agriculture*, (98) 233-241.

TP-LINK. (2011). *Tecnología 802.11n*. Obtenido de <http://www.tp-link.com.mx/article/?faqid=229>

## Intervalo difuso tipo 2 con aprendizaje aplicado en control

MÁRQUEZ-VERA, Marco Antonio†\*, ZÚÑIGA-PEÑA, Nadia Samantha´, RAMOS-VELASCO, Luis Enrique´´

´Universidad Politécnica de Pachuca

´´Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo

Recibido: 16 de Julio, 2017; Aceptado 12 de Septiembre, 2017

### Resumen

Se presenta el diseño de un controlador difuso tipo 2, se trata de un control indirecto al asumir que se desconoce el modelo matemático que describe al sistema a controlar. El controlador emplea la aproximación difusa del sistema, misma que es ajustada mediante la adaptación de las reglas difusas propuestas inicialmente. La lógica difusa tipo 2 sirve como una justificación para la elección de la forma de los conjuntos difusos, dada la complejidad de tratar con ella se empleó un intervalo difuso tipo 2. Como caso de aplicación, se implementó la ley de control en un péndulo invertido, los resultados de simulación son mostrados notando una respuesta similar a la ya reportada en la literatura pero con un gasto computacional mayor, por lo que la regla de adaptación se propuso en tiempo discreto a fin de evitar algoritmos de integración numérica.

### Abstract

It is shown the control design by using fuzzy logic type 2; this is an indirect control because it is assumed that the mathematical model of the dynamic system is not known. The controller uses a fuzzy approaching of the system which is tuned by updating the consequents of the fuzzy rules. The fuzzy logic type 2 can justify the shape of the fuzzy sets, because of its complexity to be evaluated, it was implemented a type 2 fuzzy interval. For the control application it was used the inverted pendulum, the simulation results show a similar behavior than the reported in another works, the drawback is its bigger computational requirements, in this way, it was proposed a discrete time learning rule for avoiding numeric integration.

**Control Indirecto, Lógica Difusa, Aprendizaje**

**Indirect Control, Fuzzy Logic, Learning**

**Citación:** MÁRQUEZ-VERA, Marco Antonio†\*, ZÚÑIGA-PEÑA, Nadia Samantha, RAMOS-VELASCO, Luis Enrique. Intervalo difuso tipo 2 con aprendizaje aplicado en control. Revista de Simulación Computacional. 2017. 1-1: 9-17

† Investigador contribuyendo como primer autor.

\* Correspondencia al autor (email: marquez@upp.edu.mx)



## Introducción

Dada la dificultad para tratar con sistemas complejos, no siempre es posible el empleo de un modelo matemático aproximado para proponer una estrategia de control [1].

Para poder tratar con información incompleta o inexacta, se han desarrollado diferentes técnicas de cómputo suave, una de estas técnicas es la lógica difusa [2].

La lógica difusa fue propuesta inicialmente por L. Zadeh [3], quien empleó términos de la lógica proposicional y la teoría de conjuntos, su trabajo fue poco usado hasta que E. Mamdani [4] propuso un controlador difuso para una máquina de vapor.

Desde entonces, en diversos aparatos electrodomésticos, la palabra fuzzy es sinónimo de confiabilidad, buen desempeño o que es amigable con el usuario [5].

Existen dos sistemas de inferencia difusa, el tipo Mamdani que emplea conjuntos difusos en los consecuentes de las reglas, y el tipo Takagi-Sugeno (TS), el cual tiene funciones lineales como consecuentes, las cuales pueden ser constantes o combinaciones lineales de las entradas [3].

En el presente trabajo se propone el uso de un sistema difuso TS del tipo dos.

Varias han sido las aplicaciones de la lógica difusa, por ejemplo se ha empleado en la detección de patrones [6], en el control de sistemas dinámicos [7], en toma de decisiones [8], modelado de sistemas no lineales [9], en comunicaciones electrónicas [10] y procesamiento digital de señales [11]. Ante sus buenos resultados y relativa sencillez de diseño comparada con otras técnicas matemáticas, la lógica difusa ha ganado mucho interés por la comunidad científica.

Debido a varios aspectos que parecen ser tomados de forma arbitraria, se han realizado diversas críticas al diseño de sistemas difusos, por ejemplo, si no se tiene un experto en el control de la planta a tratar, no es fácil definir las características óptimas del sistema de inferencia TS a utilizar.

De este modo, la lección del tipo de funciones de pertenencia puede depender de la complejidad de programar dichas funciones o de tener como limitante la memoria del dispositivo que contendrá el controlador difuso; el determinar la cantidad de conjuntos difusos para realizar la partición del universo de discurso para cada variable o el proponer el tipo de operador para realizar la intersección entre conjuntos y la agregación de las reglas también parece arbitrario, de manera que se eligen en base a consideraciones prácticas o de manera arbitraria [4].

Si bien, la lógica difusa del tipo 2 ya había sido considerada por L. Zadeh, fue hasta después, que buscando una manera de justificar la forma de los conjuntos, de notó que si además de ser funciones convexas, la parte que determina lo difuso del conjunto, es a su vez difusa, se puede absorber la incertidumbre inherente de proponer la forma para los conjuntos, además es posible emplear menos conjuntos para realizar la partición una difusa [12].

La lógica difusa tipo 2 sirvió para justificar la forma de los conjuntos difusos y se han conseguido mejores resultados que con la ahora llamada lógica difusa tipo 1, pero se requiere de programar un controlador más grande, con más parámetros y se emplea un mayor gasto computacional [13].

Dado que se requiere un reductor de tipo para tener una salida no difusa [14], se han propuesto sistemas llamados intervalos difusos tipo dos, en donde se emplean dos conjuntos difusos conocidos como conjuntos superior e inferior [15], los cuales son evaluados como sistemas difusos independientes y al final son promediados, obteniendo así la salida llamada señal de control. Existen varias formas de definir los conjuntos difusos, es posible usar clustering [16] para después proponer conjuntos que abarquen las mediciones tomadas dentro de un intervalo, otra forma de hacerlo es usar la técnica del gradiente descendente para ajustar la forma de los conjuntos, manteniendo fijo el centro de los conjuntos comunes en una misma variable.

En el presente trabajo, se implementa una regla de adaptación para modificar los consecuentes de las reglas difusas con miras a simplificar el ajuste de sistemas de control difuso tipo 2; dada la dificultad de proponer una ganancia óptima de adaptación, se empleó una tasa de aprendizaje similar al método usado en redes neuronales [17], de manera que si el error decrece, la tasa se incrementa y viceversa, con el fin de garantizar la estabilidad del controlador difuso. La principal contribución fue proponer esta adaptación mediante ecuaciones en tiempo discreto para reducir el tiempo necesario para adaptar el controlador, ya que en la lógica difusa tradicional se proponen ecuaciones diferenciales que requieren de algoritmos de integración.

El artículo está organizado de la siguiente manera, en la siguiente sección se describe el desarrollo del control difuso, comentando al mismo tiempo sobre la estabilidad del mismo en el sentido de Lyapunov [18], para después mostrar los resultados de aplicar el control difuso tipo 2 en el ya bien conocido péndulo invertido, que ha venido a ser una especie de benchmark en la teoría de control.

Finalmente, se da una discusión y se presentan las conclusiones del trabajo, así como las referencias empleadas.

## Materiales y Métodos

Dentro de la teoría de control, diversas han sido las técnicas de diseño, mismas que pueden ser divididas en dos grandes rubros, los controles directos y los indirectos, los primeros hacen uso del modelo matemático que describe al sistema a controlar, como puede ser una retroalimentación de estado o de salida [19], la linealización por retroalimentación de salida [20], cancelación del modelo [16], ubicación de polos [21] o control por modos internos [22].

El método indirecto no hace uso del modelo, el ejemplo más usado en la industria es el controlador PID, un caso interesante es el control por modos deslizantes [23], donde si bien es posible usar el modelo para proponer el controlador, el conocer únicamente las cotas dentro de las que puede encontrarse la evaluación de las funciones que definen al modelo es suficiente.

Bajo este concepto, es posible aproximar la dinámica del sistema no lineal con funciones difusas, a partir de las cuales calcular la señal de control.

Se asume que el modelo matemático del sistema no lineal a controlar está definido de la siguiente manera:

$$x(t) = f(x(t), t) + g(x(t), t)u(t) + d(t) \quad (1)$$

donde  $x(t)$  puede ser un vector, de modo que el lado izquierdo de la igualdad sería la  $n$ -ésima derivada según la dimensión de  $x$ ;  $f(\cdot)$  y  $g(\cdot)$  son funciones continuas no lineales,  $u(t)$  representa a la señal de control y  $d(t)$  es ruido o una perturbación externa.

Se usa una aproximación en tiempo discreto, ya que la señal de control la calcula un sistema digital con un determinado tiempo de muestreo, se tiene que el sistema es (2):

$$x(k+1) = x(k) + Tf(x(k)) + T\tilde{g}(x(k))u(k) \quad (2)$$

Ahora, un control por modos deslizantes puede ser definido para el sistema mostrado, teniendo como referencia a la señal  $r(k)$ , para lo cual se requiere proponer el error como la diferencia entre la salida real del sistema y la referencia deseada.

$$e(k) = x(k) - r(k) \quad (3)$$

Empleando el modelo descrito por (2), se propone una señal de control llamada control equivalente, definida por (4):

$$u_{eq}(k) = \tilde{g}(x(k))^{-1}(r(k+1) - f(x(k)) - s(e(k))) \quad (4)$$

Siendo  $s(e(k))$  una función llamada superficie de deslizamiento, la cual se elige preferentemente como una función lineal que puede depender de los errores anteriores según el orden del sistema, lo importante es que sea una función estable, con todas sus raíces dentro del círculo unitario.

A esta señal se le agrega otra conocida como control discontinuo (switching control), que emplea la función signo, misma que puede agregar chattering a la respuesta final; si bien este tipo de control puede forzar la convergencia del sistema bajo control, apareciendo cuando se requiera modificar la dinámica del controlador según la estabilidad en el sentido de Lyapunov [17]. Siendo esta componente de control:

$$u_{sw}(k) = -\tilde{g}(x(k))^{-1}ysgn(s(e(k))) \quad (5)$$

De este modo se tiene que el control final está formado por la suma de (4) y (5).

Se han propuesto algunas formas de proponer una aproximación para las funciones  $f(\cdot)$  y  $g(\cdot)$ , en [18] se propone determinarlas de manera difusa, más aún, proponen sustituir el control discontinuo por un PI difuso. En este trabajo se propone introducir un sistema difuso que sustituya a (5) por la agregación de la señal de control anterior, de este modo, el control equivalente es en realidad la variación de la señal de control, misma que se iría agregando de un periodo de muestreo al siguiente.

En [24] se realiza un método similar, teniendo el sistema una componente de entrada que depende de la señal de control y otra para determinar la forma en que el sistema responde a la variación de la señal de control i.e.

$$x(t) = f(x(t)) + g(x(t))u(t) + h(x(t))\dot{u}(t) \quad (6)$$

Dado que se desconocen las funciones reales que determinan matemáticamente al sistema dinámico,  $f(\cdot)$  y  $g(\cdot)$  se aproximan de manera difusa mediante la siguiente regla de adaptación.

$$\theta_f(k+1) = \theta_f(k) + y_1 s(e(k)) \lambda(x(k)) \quad (7)$$

$$\theta_g(k+1) = \theta_g(k) + y_2 s(e(k)) \lambda(x(k)) u(k) \quad (8)$$

$$\theta_p(k+1) = \theta_p(k) + y_3 \lambda(x(k)) \quad (9)$$

Siendo  $\theta_f$ , y  $\theta_g$  los consecuentes de las reglas difusas que determinarán la aproximación difusa de  $f(\cdot)$  y  $g(\cdot)$ ,  $\theta_p$  es el término de corrección difuso que sustituirá al control discontinuo para evitar el chattering, el cual también puede ser abordado e.g. mediante modos deslizantes de segundo orden [23]. En la Figura 1 se muestra el esquema usado para realizar el aprendizaje difuso que modifica los consecuentes de las reglas, en [18] se propone un esquema similar, contra en cual se comparan los resultados obtenidos en la presente propuesta.

Las reglas difusas tienen la siguiente representación:

$$R^m: \text{Si } x_1(k) \text{ es } \hat{A}^m \text{ y } x_2(k) \text{ es } \hat{B}^m; \\ \text{entonces } \hat{y}^m = \theta_f^T \lambda(x(k)).$$

La pertenencia normalizada está denotada por  $\lambda(x(k))$ , si se emplean conjuntos difusos normalizados, la sumatoria de todas las activaciones sería uno, i.e. la salida está normalizada, en este trabajo se emplearon funciones gaussianas cuyos conjuntos difusos tipo 2 tendrían la forma mostrada en la Figura 2, para determinar los intervalos difusos, se emplearon las huellas de incertidumbre presentadas en la Figura 3, como se puede apreciar, el sistema de inferencia difuso resultante es similar a tener dos sistemas difusos. Para esto se descarta la tercer dimensión  $J(x, \mu(x))$  y mediante un alfa-corte se extraen los límites superior e inferior para las huellas de incertidumbre.

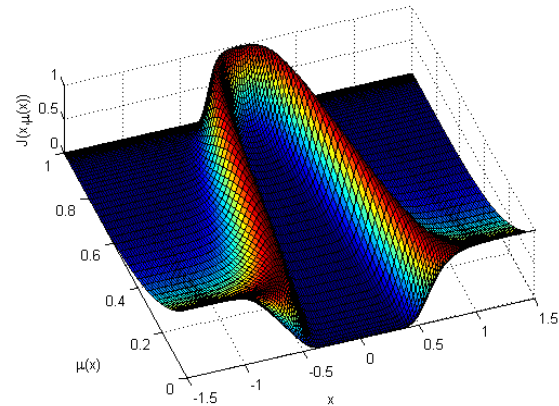


Figura 2 Funciones de pertenencia tipo 2. Fuente los Autores.

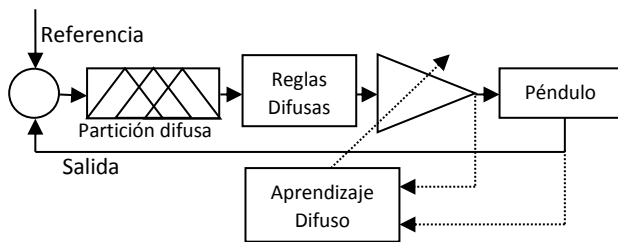


Figura 1 Esquema del aprendizaje difuso tipo 2 con promediador como reductor de orden. Fuente los Autores.

**Lógica Difusa Tipo 2**

Los valores de pertenencia normalizados en (7), (8) y (9) resultan de realizar la intersección entre los conjuntos difusos empleados en una regla difusa en particular, para realizar la agregación de las reglas se realiza la unión entre las evaluaciones de las reglas.

Se ha propuesto emplear el producto para la intersección entre los conjuntos, y al promedio ponderado como operador de unión [3]. De modo que los valores normalizados son obtenidos con (10).

$$\lambda(x(k)) = \frac{\prod_{n=1}^2 \mu(x(k))}{\sum_{m=1}^{25} \prod_{n=1}^2 \mu(x(k))}. \quad (10)$$

De forma similar, se tienen las 25 reglas para  $g(\cdot)$  y el compensador llamado  $p(\cdot)$ . Al tenerse dos conjuntos para definir el intervalo difuso, se tienen dos valores al evaluar cada uno, en [25] se propone promediar los valores arrojados por ambos sistemas para realizar la reducción de tipo del control difuso tipo 2. Dada la cantidad de reglas difusas, existe la posibilidad de emplear un sistema difuso jerarquizado como en [26].

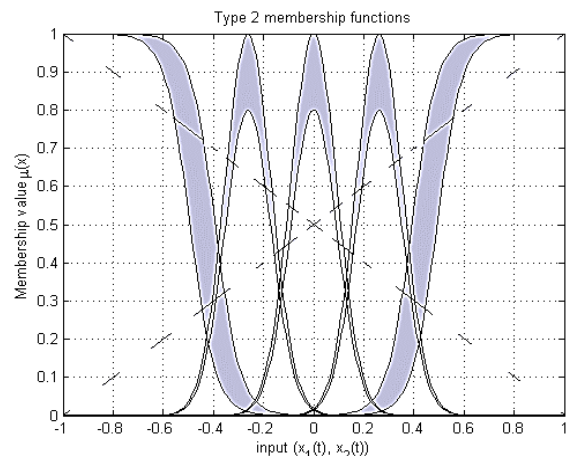


Figura 3 Intervalos difusos tipo 2 empleados. Fuente: los Autores.

$$f = \theta_f^T \left( \frac{\lambda_u x(k) + \lambda_l x(k)}{2} \right) \quad (11)$$

Siendo  $\lambda_u$  el valor de pertenencia normalizado empleando las funciones de pertenencias superiores, y  $\lambda_l$  para las inferiores.

Para determinar la estabilidad de esta regla de aprendizaje, se tomó como base [18], de forma similar, se propone una función candidata de Lyapunov

$$V(k) = \frac{1}{2} P(x^2(k) - r^2(k)) \quad (12)$$

De donde se tiene ahora su variación como:

$$\Delta V(k) = V(k+1) - V(k) \quad (13)$$

De modo que empleando la ecuación de error se obtiene:

$$\Delta V(k) = \frac{1}{2} P(-x^2(k) - \varepsilon) \quad (14)$$

Siendo  $\varepsilon$  el error de aproximación de  $f(\cdot)$  y  $g(\cdot)$ , de modo que si el error de seguimiento fuera cero, se tendría una función semi-definida negativa, por lo que el ruido externo ayuda a la convergencia del algoritmo.

Se ha propuesto una superficie de deslizamiento  $s(e(k)) = e(k) - 0.3e(k-1)$  con lo que se tienen los polos en  $z=0.3$  y la variación de la función de Lyapunov es negativa aun cuando las aproximaciones de las funciones  $f(\cdot)$  y  $g(\cdot)$  no han convergido aun.

Algo importante a notar es que la aproximación de  $g(\cdot)$  debe diferente a cero en cualquier instante, para esto las funciones de pertenencia deben intersectarse y se propone sumar un  $\varepsilon$  a la pertenencia normalizada con el fin de evitar una división entre cero.

Así mismo, si se define a la matriz  $P$  como positiva, se tendrá un sistema de control estable, un punto difícil de probar es cómo elegir las ganancias de las tasas de aprendizaje, en algunos trabajos [18, 25] se proponen ganancias grandes, con excepción de  $\gamma_2$  la cual se propone alrededor de uno. En varios trabajos similares [7, 9, 12, 18] se agrega ruido a las mediciones, lo cual podría afectar el desempeño del controlador, pero resulta que es beneficioso para adaptar los consecuentes  $\theta$  de las reglas difusas.

### Modelo del Péndulo Invertido

Como aplicación a manera de benchmark, se utilizó el modelo matemático del péndulo invertido para probar el control propuesto [19], el modelo está definido por (15)

$$\dot{x}_1 = x_2$$

$$\dot{x}_2 = \frac{g \sin x_1 - m l x_2 \cos x_1 \sin x_1 / (M+m)}{l (4/3 - m \cos 2x_2 / (M+m))} \quad (15)$$

$$\frac{\cos x_1 / (M+m)}{l (4/3 - m \cos 2x_2 / (M+m))} u + d$$

Donde  $l$  es la longitud del péndulo de 0.5m,  $g$  es la constante de gravedad a nivel del mar,  $M$  es la masa del carro de 1Kg y  $m$  es la masa del péndulo, propuesta a estar concentrada en la parte superior del mismo y es de 200g; en cuanto a las variables,  $x_1$  es la posición y  $x_2$  es el ángulo del péndulo respecto a la vertical.

### Resultados

Se implementó el sistema de control a nivel de simulación y se encontró que usando una computadora con 4 GB de memoria RAM y un procesador Intel Core Duo a 2.61GHz, la ley de control se calcula en 8.2ms, siendo posible usar un periodo de muestreo de 10ms en aplicaciones reales. Así mismo, se usaron como criterios de error a la IAE, ITAE e ISE [21].

Obteniendo los valores mostrados en la Tabla 1, donde también se muestran los valores obtenidos en [18] para la misma referencia de posición del péndulo, es posible notar que la ITAE tiene un valor menor en [18] que en este trabajo, lo que nos indica que los consecuentes de las reglas aún no han convergido al valor óptimo, siendo así más lento el aprendizaje para la lógica difusa tipo 2.

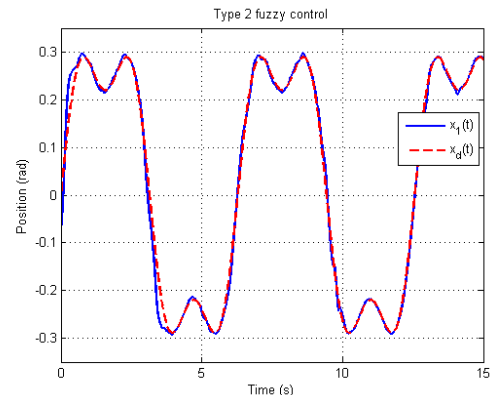
En [27] se presenta un control PD con intervalos difusos sin utilizar adaptación en las reglas, se muestra una buena respuesta ante entradas constantes y se comenta sobre la robustez del controlador. Para el caso mostrado en el presente trabajo, se emplea una referencia dinámica y unas funciones de pertenencia sin sintonizar, con las cuales se ajusta la salida de las reglas difusas en base a las pertenencias obtenidas y el error medido.

La simulación puede apreciarse en la Figura 4, donde se nota cómo la salida del sistema se asemeja cada vez más a la referencia conforme pasa el tiempo.

Como era de esperarse, si el error es pequeño, al elevarlo al cuadrado se obtienen valores aun menores, de modo que la ISE es menor que la IAE, por otro lado al multiplicar los valores por el tiempo, se castigan los errores obtenidos después de llegar al estado permanente, de modo que la ITAE es la que muestra el valor más grande, lo que también indica que no se tiene un error despreciable al final de la simulación [21].

La señal de control aplicada al péndulo de muestra en la Figura 5, se nota el efecto que tiene el ruido en el cálculo de la señal, el cual reduce su efecto en el sistema gracias a la inercia que tiene el péndulo, además una señal de excitación persistente ayuda sintonizar los consecuentes de las reglas difusas [28].

De este modo, se muestra una aplicación de usar lógica difusa tipo 2 en el control de un sistema dinámico, asumiendo que se desconoce el modelo matemático. Para los resultados mostrados se emplearon las ganancias de aprendizaje  $\gamma_1=12$ ,  $\gamma_2=0.75$  y  $\gamma_3=40$ .



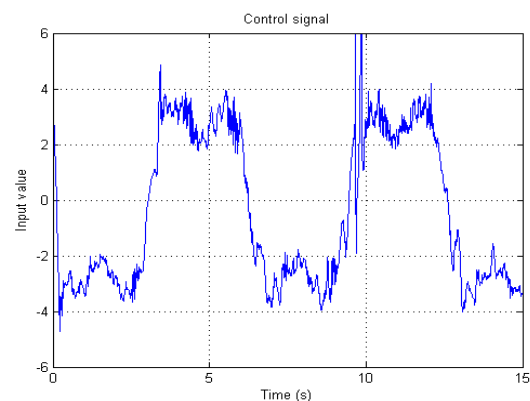
**Figura 4** Simulación del sistema de control basado en lógica difusa del tipo 2.

*Fuente: los Autores.*

| Criterio | Valor       |           |
|----------|-------------|-----------|
|          | Usando [17] | Propuesta |
| IAE      | 32.8120     | 30.1522   |
| ITAE     | 168.7773    | 172.5521  |
| ISE      | 1.2104      | 1.2250    |

**Tabla 1** Criterios de Error en la Simulación

*Fuente: los Autores.*



**Figura 5** Señal de control aplicada asumiendo ruido en la medición de la salida.

*Fuente: los Autores.*

**Conclusiones**

Ante la dificultad de justificar la forma y la cantidad de funciones de pertenencia a utilizar para proponer un sistema difuso, es posible implementar lógica difusa del tipo 2, la cual tiene difusa la pertenencia de los conjuntos. Basándonos en los trabajos de otros autores se propuso una técnica de aprendizaje en tiempo discreto para reducir el gasto computacional para adaptar los consecuentes de las reglas difusas.

Fue posible notar cómo la salida del sistema (posición del péndulo) converge a la referencia conforme pasa el tiempo, el péndulo fue tomado como sistema dinámico para poder comparar los resultados obtenidos con otros trabajos ya existentes, se puede concluir que se logran resultados muy similares, pero el gasto computacional aun es mayor debido a que es equivalente a emplear dos sistemas difusos para ser promediados al final. Respecto a realizar modelado, se podría ver como ventaja el poder ocupar menos funciones de pertenencia para hacer la partición difusa, pero de cualquier modo se requiere más tiempo para procesar los sistemas difusos que definen el intervalo.

**Referencias**

- [1] Veenman J., Scherer C.W. "A synthesis framework for robust gain scheduling controllers." *Automatica*. 50. 2014. pp. 2799-2812.
- [2] Ahn C.K. "Some new results on stability of Takagi-Sugeno fuzzy Hopfield neural networks." *Fuzzy Sets and Systems*. 179. 2011. pp. 100-111.
- [3] Ross T. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. 2008. John Wiley and Sons. West Sussex. 628 páginas.
- [4] Passino K., Yurkovich S. *Fuzzy Control*. 1998. Addison Wesley. California. 502 páginas.

- [5] Ramos Fernández J.C., Márquez Vera M.A., Cerecero Natale L.F., Lafont F., Balmat J.F. "Modelado difuso Takagi-Sugeno para sintonizar un controlador por calefacción en un invernadero." *Research in Computing Science*. 92. 2015. pp. 69-80.
- [6] González C.I., Melin P., Castro J.R., Castillo O., Mendoza O. "Optimization of interval type 2 fuzzy systems for image edge detection." *Applied Soft Computing*. 47. 2016. pp. 631-643.
- [7] Husek P. "Adaptive fuzzy sliding mode control with moving sliding surface." *Applied Soft Computing*. 42. 2016. pp. 178-183.
- [8] Gupta M., Mohanty B.K. "An algorithmic approach to group decision making problems under fuzzy and dynamic environment." *Expert Systems with Applications*. 55. 2016. pp. 118-132.
- [9] Tavoosi J., Suratgar A.A., Menhaj M.B. "Nonlinear system identification based on a self-organizing type-2 fuzzy RBFN." *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 54. 2016. pp. 26-38.
- [10] Abdessameuda A., Polushin I.G., Tayebi A. "Synchronization of nonlinear systems with communication delays and intermittent information exchange." *Automatica*. 59. 2015. pp. 1-8.
- [11] Nguyen T., Khosravi A., Creighton D., Nahavandi S. "EEG signal classification for BCI applications by wavelets and interval type 2 fuzzy logic systems." *Expert Systems with Applications*. 42. 2015. pp. 4370-4380.
- [12] Cervantes L., Castillo O. "Type 2 fuzzy logic aggregation of multiple fuzzy controllers for airplane flight control." *Information Science*. 324. 2015. pp. 247-256.

- [13] Liu X., Mendel J.M., Wu D. "Study on enhanced Karnik-Mendel algorithms: initialization explanations and computation improvements." *Information Science*. 184. 2012. 75-91.
- [14] Masumpoor S., Yaghobi H., Khanesar M.S. "Adaptive sliding mode type 2 neuro-fuzzy control of an induction motor." *Expert Systems with Applications*. 42. 2015. pp. 6635-6647.
- [15] Sun X., Cai C., Yang J., Shen X. "Route evaluation for unmanned aerial vehicle based on type 2 fuzzy sets." *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 39. 2015. pp. 132-145.
- [16] Márquez Vera M.A., Ramos Fernández J.C., Cerecero Natale L.F., Lafont F., Balmat J.F., Esparza Villanueva J.I. "Temperature control in a MISO greenhouse by inverting its fuzzy model." *Computers and Electronics in Agriculture*. 124. 2016. pp. 168-174.
- [17] Dymova L., Sevastjanov P., Tikhonenko A. "An interval type-2 fuzzy extension of the TOPSIS method using alpha cuts." *Knowledge Based Systems*. 83. 2015. pp. 116-127.
- [18] Ho H.F., Wong Y.K., Rad A.B. "Adaptive fuzzy sliding mode control design: Lyapunov approach." *5th Asian Control Conference*. 2004. pp. 1502-1507.
- [19] Ogata K. *Ingeniería de control moderna*. 5ª ed. 2010. Pearson Educación. Madrid, España. 894 páginas.
- [20] Marino R., Tomei P. *Nonlinear control*. 1995. Prentice Hall. Great Britain. 396 pages.
- [21] Kuo B.C. *Sistemas de control digital*. 2003. Compañía Editorial Continental. Cd. De México. 751 páginas.
- [22] Porril J., Dean P., Anderson S.R. "Adaptive filters and internal models: multiple description of cerebellar function." *Neural Networks*. 47. 2013. pp. 134-149.
- [23] Utkin V.I. *Sliding modes in control and optimization*. 1992. Springer-Verlag. Moscow. 286 pages.
- [24] Zhang F., Hua J., Li Y. "Indirect adaptive fuzzy control of SISO nonlinear systems with input-output relationship." *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2017. Article in press.
- [25] Masumpoor S., Yaghobi H., Khanesar M.A., "Adaptive sliding mode type-2 neuro-fuzzy control of an induction motor." *Expert Systems with Applications*. 42. 2015. pp. 6635-6647.
- [26] Baydokhty M.E., zare A., Balochian S. "Performance of optimal hierarchical type 2 fuzzy controller for load-frequency system with production rate limitation and governor dead band." *Alexandria Engineering Journal*. 55. 2016. pp. 379-397.
- [27] El-Nagar A.M., El-Bardini M., El-Rabaie N.M. "Intelligent control for nonlinear inverted pendulum based on interval type 2 fuzzy PD controller." *Alexandria Engineering Journal*. 53. 2014. pp. 23-32.
- [28] Ngo P.D., Shin Y.C. "Modeling of unstructured uncertainties and robust controlling of nonlinear dynamic systems based on type-2 fuzzy basis function networks." *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 53. 2016. pp. 75-85.



**Método de esteganálisis adaptivo a las características de las imágenes**

RAMÍREZ-RODRÍGUEZ, Ana Elena†, JUÁREZ-SANDOVAL, Ulises, NAKANO-MIYATAKE, Mariko\*, CEDILLO-HERNÁNDEZ, Manuel

*Universidad Politécnica de Pachuca*

Recibido: 10 de Julio, 2017; Aceptado 09 de Septiembre, 2017

**Resumen**

En este artículo se presenta un novedoso método de esteganálisis adaptivo. El método propuesto se basa en la Transformada Discreta Coseno para realizar una clasificación de las características de las imágenes, es decir, las imágenes son analizadas y sus características son clasificadas en tres categorías: regiones planas, semi-detalladas y detalladas; posteriormente un conjunto de vectores característicos son extraídos de las regiones previamente clasificadas mediante los algoritmos de Autocorrelación (AC), Medidas de Similitud Binaria (BSM) y Amplitud de los extremos locales (ALE), finalmente una Máquina de Soporte Vectorial (SVM) es utilizada en conjunto con los vectores característicos para determinar que imágenes contienen información oculta y cuáles no. Los resultados muestran que el algoritmo propuesto supera a los algoritmos convencionales y minimizando el error de detección.

**Clasificador, Estegoanálisis, Esteganografía**

**Abstract**

This paper presents an image adaptive steganalysis algorithm. In the proposed method, the Discret Cosine Transform is used as image characteristics classifier, where the images characteristics are classified in three categories: texture, plain or edges regions. Taking advantage of these categories a set of statistic feature vectors is obtained using different algorithms such as Autocorrelation (AC), Binary Similarity Measures (BSM), Amplitude of Local Extreme (ALE); finally the Support Vector Machine (SVM) classifier is used in conjunction with the obtained vectors to determine if the images contain hidden information. The results show that the proposed algorithm overcomes the conventional algorithms and minimizes the detection error.

**Classifier, Steganalysis, Steganography**

**Citación:** RAMÍREZ-RODRÍGUEZ, Ana Elena†, JUÁREZ-SANDOVAL, Ulises, NAKANO-MIYATAKE, Mariko\*, CEDILLO-HERNÁNDEZ, Manuel. Método de esteganálisis adaptivo a las características de las imágenes. Revista de Simulación Computacional. 2017. 1-1: 18–24

† Investigador contribuyendo como primer autor.

\* Correspondencia al autor (email: mnakano@ipn.mx)

## Introducción

Actualmente los métodos de intercambio de información han tenido un crecimiento significativo, en donde la información es transmitida de un emisor hacia un receptor por medio de un canal de comunicación; de esto que los métodos esteganográficos son utilizados para transmitir información de forma confidencial, Sin embargo, algunos de estos métodos pueden ser utilizados para transmitir información sensible con fines ilícitos como terrorismo, trata de personas, etc.

Uno de los métodos esteganográficos más usados es el remplazo del bit menos significativo (LSB-R) [1], el cual consiste en remplazar el bit menos significativo de cada pixel de una imagen con la información que se desea transmitir, esto permite tener una gran capacidad de ocultar información, sin embargo, debido a sus características de inserción es uno de los métodos esteganográficos más vulnerables ante los métodos de detección de información oculta. Por otro lado, existe un método esteganográfico menos vulnerable y capaz de ocultar la misma cantidad de información que el método de LSB-R denominado comparación del bit menos significativo (LSB-M) [2][3], en este el valor de cada pixel de la imagen portadora incrementa o decrementa de forma aleatoria de acuerdo con la información que se desea ocultar. Esta forma de ocultar información hace que este método sea más robusto ante métodos de esteganálisis, en este sentido el diseño de un método que permita realizar la detección de los archivos generados por este tipo de esteganografía es de suma importancia.

El esteganálisis se entiende como una técnica capaz de identificar si un archivo posee o no información oculta, dicho de otra forma, es la contraparte de la esteganografía.

Recientemente se han propuestos diversos métodos de esteganálisis capaces de obtener características que permiten determinar si un archivo posee o no información oculta por medio del método esteganográfico LSB-Matching han sido propuestos, entre ellos destacan: el método de “Amplitud del Extremo Local” (ALE) [4], cuyo funcionamiento está basado en el análisis del histograma del archivo portador para determinar si posee o no información oculta; otro método basado en el análisis del histograma es el propuesto en [5], sin embargo este incorpora un Discriminador Lineal de Fisher (FLD) el cual clasifica las características y discrimina las imágenes que poseen información oculta de las que no; por otro lado, el método de Valores de los Pares (PoV) [6], es un método de esteganálisis que si bien ha sido utilizado para la detección de archivos esteganográficos generados por LSB-M, tiene mejores resultados para la detección de LSB-R.

Por otro lado, existen métodos de esteganálisis basados en la clasificación de vectores característicos, en [7] los autores proponen un método de esteganálisis denominado WAM, en este un conjunto de 27 momentos de ruido son extraídos de las bandas de frecuencia de la imagen en el dominio de la transformada wavelet, mismos que son finalmente clasificados mediante la construcción de un FLD. La autocorrelación (AC), consiste en obtener una relación entre pixeles, usando una matriz de autocorrelación de la imagen original y la estegoimagen [8].

El método de similitud binaria (BSM), intenta predecir si una imagen contiene o no información analizando la correlación entre los mapas de bits de la imagen, así como la textura de cada uno de ellos [9].

Actualmente son pocos los algoritmos de esteganálisis reportados en la literatura que consideran las características de las imágenes como áreas texturizadas[10][11], planas o con bordes, en este sentido al hacer uso de este tipo de características durante el proceso de detección métodos como AC, BSM y ALE generan una fuerte variación de falsos positivos y falsos negativos, para reducir estas variaciones en los errores de detección e incrementar el porcentaje de detección es posible utilizar un clasificador entrenado para cada una de las características antes mencionadas.

En este artículo se presenta un novedoso algoritmo de esteganálisis para imágenes digitales, en el cual un clasificador de texturas [12] y un conjunto de tres métodos de extracción de características (AC, BSM y ALE) que obtiene vectores característicos los cuales son tratados mediante el uso de una Máquina de Soporte Vectorial con el fin de indicar que imagen es un archivo con información oculta.

El resto de este trabajo se encuentra organizado mediante el siguiente orden: en la primera sección se describe el algoritmo propuesto, los Resultados obtenidos son descritos en la segunda sección, finalmente las conclusiones son mostradas.

**Algoritmo propuesto**

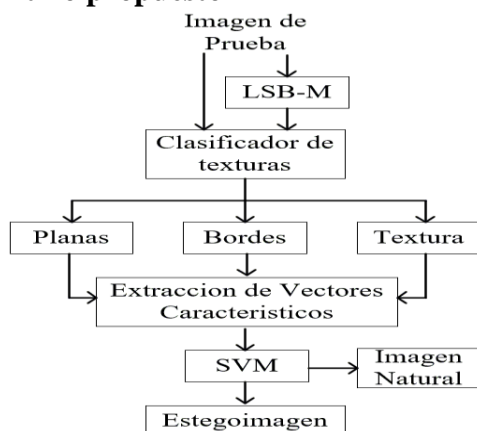


Figura 1 Diagrama a bloques del algoritmo propuesto.

En esta sección el método propuesto de esteganálisis adaptivo es descrito de forma general mediante el diagrama de la Fig.1. Una descripción detallada del método propuesto es explicada mediante los siguientes pasos:

1. Imagen de Prueba: la imagen de prueba corresponde a un conjunto de imágenes naturales.
2. LSB-M: en este bloque el método esteganográfico de LSB-M es utilizado para ocultar información en el 25%, 50%, 75% y 100% de la imagen de prueba.
3. Clasificación de texturas: en este artículo un clasificador de texturas basado en el dominio de la transformada discreta coseno (DCT) propuesto en [9] es implementado. En este la imagen es dividida en bloques de 8x8 y la DCT es implementada en cada uno de ellos. Las características de textura de cada bloque son definidas por la suma del valor absoluto de cada región del bloque transformado denotadas como: “DCT”, altas frecuencias (H), bajas frecuencias (L) y semiplano (E), como se muestra en la Fig.2.

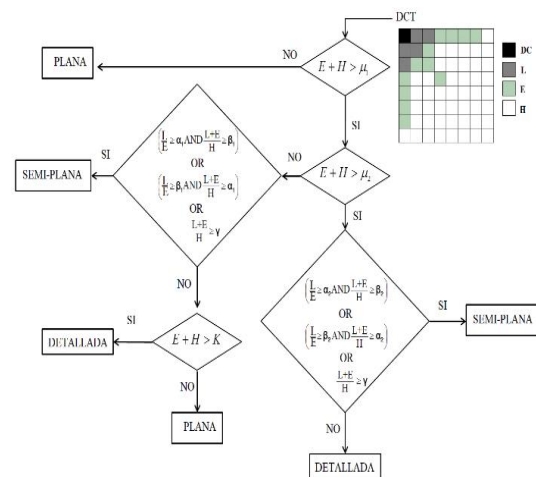


Figura 2 Clasificador de Textura.

Finalmente, para la obtención de los resultados experimentales los parámetros utilizados son los mismos que los sugeridos en [12] bajo las siguientes consideraciones:

- Si tiene más de 80% de detección de los bloques planos se considera plana. Si es entre 40% y 79.9% se considera que es una imagen con bordes.
  - Si la imagen tiene menos del 40% de bloques planos se considera una imagen con textura.
4. Extracción de Vectores característicos: en este proceso un conjunto de métodos de extracción de características es implementado para obtener un conjunto de vectores que permitan identificar si una imagen posee o no información oculta.

### La Autocorrelación

La autocorrelación [8] en LSB presenta eficientes resultados para imágenes planas, pero no tan eficiente para imágenes detalladas y puede representada como se observa en (1).

$$AC_{x,y} = \sum_{i,j} S_{i,j} \cdot S_{i+x,j+y} \quad (1)$$

Donde  $S_{i,j}$  es (i, j)-ésimo valor del plano LSB. Si la autocorrelación es 0, los datos no muestran una ninguna relación entre ellos, entonces la imagen probablemente contiene un mensaje oculto.

En el presente artículo se utilizan las siguientes autocorrelaciones:  $AC_{0,1}$ ,  $AC_{0,2}$ ,  $AC_{1,0}$ ,  $AC_{2,0}$ ,  $AC_{1,1}$ ,  $AC_{1,2}$ ,  $AC_{2,1}$ ,  $AC_{2,2}$ , después de calcular las autocorrelaciones anteriores el radio entre las imágenes es calculado de acuerdo con (2).

$$R = \frac{AC_{prueba}}{AC_{estegoimagen}} \quad (2)$$

Donde  $AC_{prueba}$  es  $AC_{x,y}$  de la imagen de prueba, mientras  $AC_{estegoimagen}$  corresponde a la imagen obtenida después de someter intencionalmente la imagen de prueba al método esteganográfico de LSB-M.

### Las Medidas de Similitud Binarias

Si la imagen tiene un mensaje oculto, las características de los vecinos cercanos se alteran en el LSB [9], considerando imágenes de tamaño  $M \times N$  la similitud binaria puede ser representada como:

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{si } x_i = 0 \text{ y } x_i^s = 0 \\ 2 & \text{si } x_i = 0 \text{ y } x_i^s = 1 \\ 3 & \text{si } x_i = 1 \text{ y } x_i^s = 0 \\ 4 & \text{si } x_i = 1 \text{ y } x_i^s = 1 \end{cases} \quad (3)$$

Donde  $x_i$  representa el pixel en la posición i, y  $x_i^s$  los vecinos del pixel i. Consecuentemente un conjunto de 10 características son obtenidas mediante (4-13), para formar un vector característico de 10 elementos.

$$m_1 = \frac{2(a+d)}{2(a+d)+b+c} \quad (4)$$

$$m_2 = \frac{a}{a+2(b+c)} \quad (5)$$

$$m_3 = \frac{a}{b+c'} \quad (6)$$

$$m_4 = \frac{a+d}{b+c'} \quad (7)$$

$$m_5 = \frac{1}{4} \left( \frac{a}{a+b} + \frac{a}{a+c} + \frac{d}{b+d} + \frac{d}{c+b} \right) \quad (8)$$

$$m_6 = \frac{ad}{\sqrt{(a+b)(a+c)(b+d)(c+b)}} \quad (9)$$

$$m_7 = \sqrt{\frac{a}{a+b} + \frac{a}{a+c'}} \quad (10)$$

$$m_8 = \frac{b+c}{2a+b+c'} \quad (11)$$

$$m_9 = \frac{bc}{(a+b+c+d)^2} \quad (12)$$

$$m_{10} = \frac{b+c}{4(a+b+c+d)} \quad (13)$$

Los valores de a, b, c, d son obtenidos mediante:

$$a = \frac{1}{MN} \sum_I \alpha_1^1 \quad (14)$$

$$b = \frac{1}{MN} \sum_I \alpha_1^2 \quad (15)$$

$$c = \frac{1}{MN} \sum_I \alpha_1^3 \quad (16)$$

$$d = \frac{1}{MN} \sum_I \alpha_1^4 \quad (17)$$

Donde  $\alpha_i^j$  denota la función de transición de los píxeles vecinos del píxel central.

### Amplitud del Extremo Local

Es un método para detectar archivos tratados con el algoritmo LSB-Matching [4]. En donde la posición del extremo local consiste en las posiciones mínimas y máximas del histograma, así como el uso de una matriz de coocurrencia para las obtener las direcciones horizontal o vertical, 45° y 135° [13], en el cual es realizado el análisis.

Mediante este método un conjunto de 10 valores característicos es obtenido del histograma y las matrices de coocurrencia. Las primeras dos características son obtenidas del histograma mediante (18) y (19).

$$A = \sum_{x \in \mathcal{N} \setminus \{3,4,\dots,252\}} |2h(x) - h(x-1) - h(x+1)| \quad (18)$$

Donde  $h(x)$  es el número de píxeles con valor x.

$$d_1 = \sum_{x \in \mathcal{N} \setminus \{1,2,253\}} |2h(x) - h(x-1) - h(x+1)| \quad (19)$$

Las características obtenidas mediante la matriz de coocurrencia son calculadas mediante (20).

$$A_2(M) = \sum_{p \in \mathcal{E}'} |4M(p) - \sum_{n \in \mathcal{N}} M(p+n)| \quad (20)$$

Finalmente, los valores diagonales de las dichas matrices son obtenidos mediante (21).

$$d_2(M) = \sum_{k=0}^{255} M(k,k) \quad (21)$$

Donde  $\mathcal{N} = \{(0,1), (1,0), (-1,0), (0,-1)\}$ , las diez características se presentan en la tabla 1:

|    |                              |
|----|------------------------------|
| 1  | $A_1$                        |
| 2  | $d_1$                        |
| 3  | $A_2$                        |
| 4  | $A_2(M_{\text{vertical}})$   |
| 5  | $A_2(M_{45^\circ})$          |
| 6  | $A_2(M_{135^\circ})$         |
| 7  | $d_2(M_{\text{horizontal}})$ |
| 8  | $d_2(M_{\text{vertical}})$   |
| 9  | $d_2(M_{45^\circ})$          |
| 10 | $d_2(M_{135^\circ})$         |

**Tabla 1** Características obtenidas con el método ALE.

Finalmente, una máquina de soporte vectorial con un kernel Gaussiano [14] es implementada como clasificador, en este el conjunto de vectores característicos son tratados con el objetivo de indicar si la imagen pose o no información oculta.

### Resultados

Para evaluar el método propuesto es utilizada una base de imágenes BOWS-2 [15], la cual contiene 10,000 imágenes en escala de grises de tamaño 512x512 píxeles. Inicialmente en el conjunto de imágenes se oculta información en el 25%, 50%, 75% y 100% de la imagen mediante el método esteganográfico LB-M, posteriormente mediante el uso de clasificador de texturas las imágenes son clasificadas en tres categorías: planas (A), semiplana o medianamente texturizada (B) y texturizada (C) en donde la categoría A tiene un total de 2482 imágenes planas, la categoría B tiene 5650 imágenes y la categoría C tiene 1868 imágenes.

Las imágenes contenidas en cada una de estas categorías son tratadas mediante los algoritmos de Autocorrelación, Medidas de Similitud Binarias y Amplitud del Extremo Local. En la tabla 2 se muestra la dimensión de los elementos de cada vector, los cuales son clasificados mediante una máquina de soporte vectorial y un kernel Gaussiano, el cual indicara si las imágenes contienen información oculta o no.

|                             | AC | BSM | ALE |
|-----------------------------|----|-----|-----|
| <b>Dimensión del vector</b> | 8  | 10  | 10  |

**Tabla 2** Dimensión cada vector característico, correspondiente a cada método de extracción de características.

En el método propuesto se usaron 4 diferentes porcentajes de información oculta: 25%, 50%, 75% y 100% los cuales son analizados mediante diferentes métodos de extracción de características (AC), (BSM) y (ALE), cuyos porcentajes de detección comparados con métodos convencionales se muestran en la Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5 respectivamente.

|                     | 25%   | 50%   | 75%   | 100%  |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Convencional</b> | 57.71 | 72.47 | 85.55 | 86.28 |
| <b>A</b>            | 57.86 | 73.49 | 86.49 | 86.70 |
| <b>B</b>            | 58.06 | 72.86 | 86.42 | 86.45 |
| <b>C</b>            | 57.97 | 72.64 | 86.53 | 86.42 |

**Tabla 3** Porcentaje de detección del método propuesto usando el método de extracción de características de Auto Correlación.

|                     | 25%   | 50%   | 75%   | 100%  |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Convencional</b> | 64.92 | 79.99 | 90.00 | 90.20 |
| <b>A</b>            | 65.21 | 80.52 | 90.76 | 90.79 |
| <b>B</b>            | 65.15 | 79.96 | 90.44 | 90.76 |
| <b>C</b>            | 65.08 | 80.91 | 91.04 | 90.30 |

**Tabla 4** Porcentaje de detección del método propuesto usando el método de extracción de características de Medidas de Similitud Binarias.

|                     | 25%   | 50%   | 75%   | 100%  |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Convencional</b> | 73.23 | 87.19 | 92.51 | 92.50 |
| <b>A</b>            | 73.42 | 87.74 | 92.50 | 92.49 |
| <b>B</b>            | 73.05 | 87.70 | 92.61 | 92.67 |
| <b>C</b>            | 73.23 | 87.19 | 92.51 | 92.50 |

**Tabla 5** Porcentaje de detección del método propuesto usando el método de extracción de características de Amplitud del Extremo Local.

En las tablas se puede observar que en general el método propuesto presenta un mejor rendimiento que el método convencional.

## Conclusiones

En este artículo se propone un nuevo algoritmo de esteganálisis adaptivo para imágenes digitales en el cual gracias a la incorporación de un algoritmo capaz de realizar una clasificación de cada imagen de acuerdo con sus características de textura es posible reducir el error de detección que se presenta en los algoritmos convencionales, obteniendo así una mejor detección de estegoimágenes generadas por el método de LSB-M. El uso de una máquina de soporte vectorial como clasificador para discriminar las estegoimágenes de las imágenes naturales ayuda a incrementar el porcentaje de detección del método propuesto ante diferentes porcentajes de información oculta, siendo capaz de realizar detecciones superiores al 55% para un porcentaje de información oculta del 25%.

## Agradecimiento

Los autores agradecen el apoyo del Instituto Politécnico Nacional y CONACYT para la realización de este trabajo.

Nombre de los Autores:

Ana Elena Ramírez Rodríguez

O. Ulises Juárez Sandoval

Mariko Nakano Miyatake

Manuel Cedillo Hernández

**Referencias**

- [1] Shruti Sekra, Smata Balpande and Karishma Mulani, "Steganography Using Genetic Encryption Along With Visual Cryptography", SSRG International Journal of Computer Science and Engineering (SSRG-IJCSE), vol. 2, issue 1, 2015.
- [2] Pevný Tomáš, Bas Patrick, Fridrich Jessica, "Steganalysis by Subtractive Pixel Adjacency Matrix", IEEE Transactions on information forensics and security, volume 5, no. 2, 2010.
- [3] Zhang J., Cox I., Doërr G., "Steganalysis for LSB matching in images with high-frequency noise", IEEE Int. Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP), 2007.
- [4] Cancelli G., Doërr G., Cox I. y Barni M., "Detection of  $\pm$  steganography based on the amplitude of histogram local extrema". Proc. IEEE Int. Conf. On Image Processing (ICIP), 2008.
- [5] Ker A. D., "Steganalysis of LSB matching in grayscale images", IEEE Signal Processing Lett. Vol. 12, pp. 441-444, 2005.
- [6] A. Westfeld y A. Pfitmann, "Attacks on Steganographic Systems: Breaking the Steganographic Utilities EZStego, Jsteg, Steganos and S-Tools – and Some Lessons Learned", Information hiding, Lecture Note vol. 1768, 2000.
- [7] M. Golijan J. Fridrich T. Holotyak "New Blind Stegoanalysis and its implications", SPIE Security, S Steganography and watermarking of Multimedia contents, vol 6072, pp 1-13, 2006.
- [8] Yadollahpour A., Naimi H. M., "Attack on LSB steganography in color and grayscale images using autocorrelation coefficients", European Journal of Scientific Research, Volume 31, no. 2, pp.172-183, 2009.
- [9] Avcibas İsmail, Kharrazi Mehdi, Memon Nasir, Sankur Bülent, "Image steganalysis with Binary Similarity Measures", EURASIP Journal on Applied Signal Processing, pp. 2749-2757, 2005.
- [10] Juarez-Sandoval Oswaldo, Cedillo-Hernández Manuel, Nakano-Miyatake Mariko, Pérez-Meana Héctor, Toscano-Medina, Karina, "Image-Adaptive Steganalysis for LSB Matching Steganography". Proc IEEE Int. Conf. on Telecommunications and Signal Processing (TSP), 2016.
- [11] Juarez-Sandoval Oswaldo, Cedillo-Hernández Manuel, Sánchez-Pérez Gabriel, Toscano-Medina, Karina, Pérez-Meana Héctor, Nakano-Miyatake Mariko, "Compact Image Steganalysis for LSB-Matching Steganography". Proc IEEE Int. Workshop Biometrics and Forensics (IWBF), 2017.
- [12] Tong Henry, N. Venetsanopoulos Anastasios, "A perceptual model for jpeg applications based on block classification. Texture masking and luminance masking", Proc. IEEE Int. Conf. On Image Processing (ICIP), 1998.
- [13] Robert M. Haralick, K. Shanmugam, and Its'hak Dinstein." Textural Features for Image Classification", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. Smc-3, No. 6, November 1973.
- [14] Schaathung, Hans Georg., "Machine learning in image steganalysis", 1<sup>st</sup> ed., United Kingdom, John Wiley & Sons Ltd, chapter 5, 2012.
- [15] Bas, P., Furon, T.: BOWS-2, July 2007, disponible en: <http://bows2.gipsa-lab.inpg.fr>

## 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.

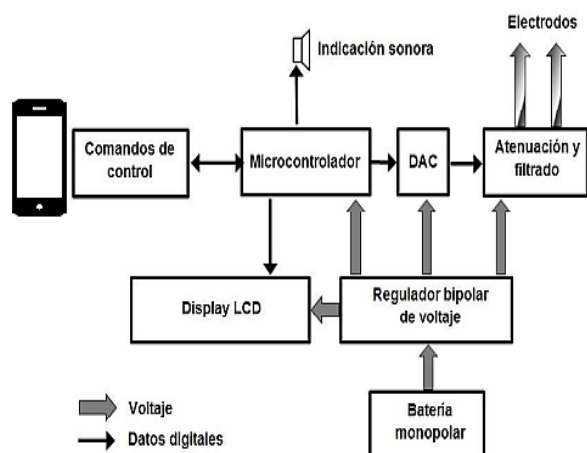
### Aplicación móvil, Servicios web y Bases de datos

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.



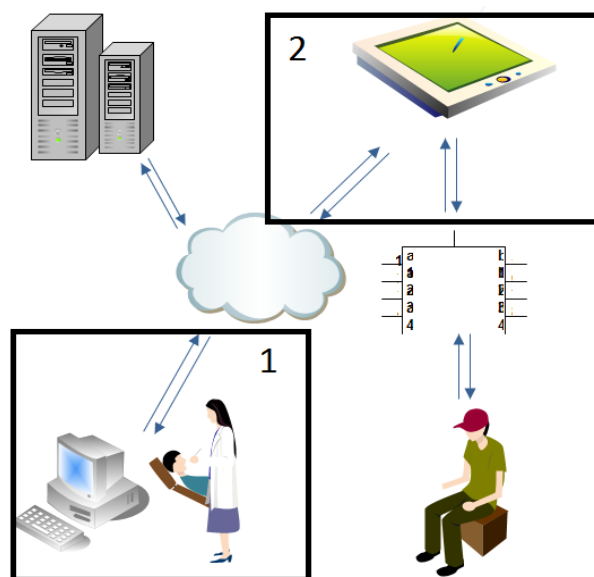
**Figura 1** Diagrama a bloques de funcionamiento de estimulador[4].

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

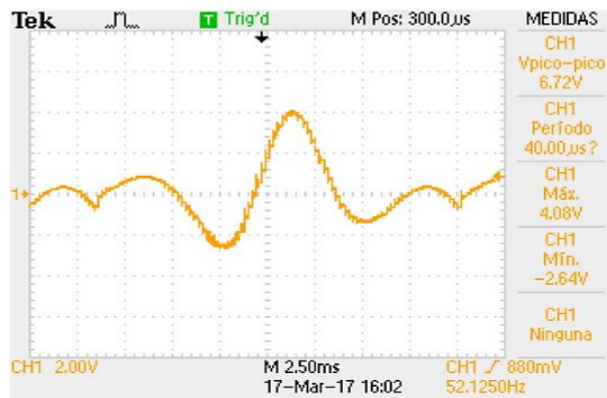
**Determinación de umbrales para cada voluntario**

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.

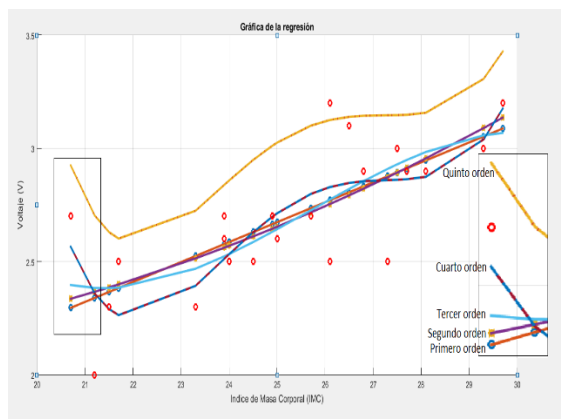
En la tabla 2 se muestran los modelos obtenidos junto con el error estándar, índice de correlación y el índice de determinación de cada polinomio.

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.

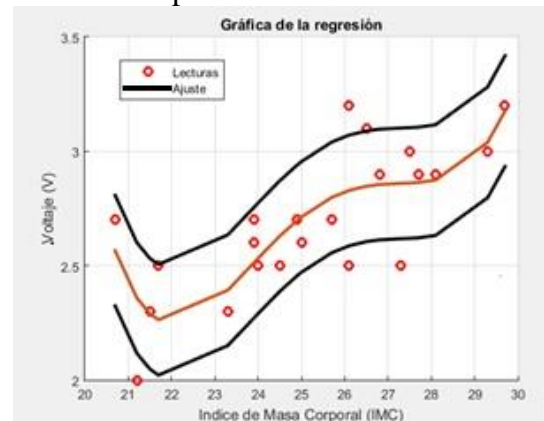
$$S = \sum_{i=0}^m (P(x_i) - y_i)^2 = \sum_{i=0}^m (a_0 + a_1x_i + a_2x_{2i} \dots + a_nx_{ni} - y_i)^2 \quad (1)$$

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

Tabla 2 Modelos obtenidos

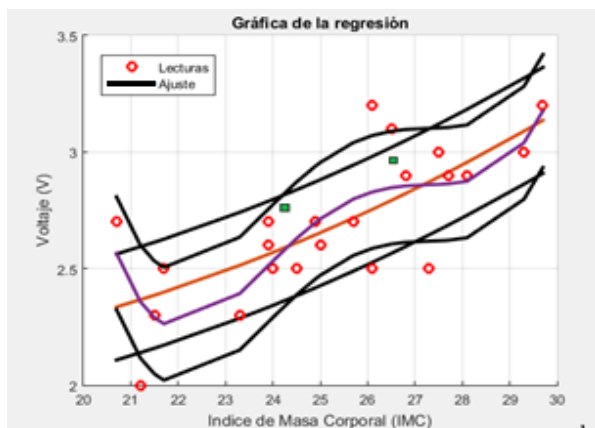


Figura 7 Gráfica verificación de modelos

## 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.

---

## **Instrucciones para autores**

---

### **[Título en Times New Roman y Negritas No.14]**

Apellidos en Mayúsculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayúsculas -2do Nombre de Autor

*Correo institucional en Times New Roman No.10 y Cursiva*

(Indicar Fecha de Envío: Mes, Día, Año); Aceptado (Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

---

#### **Resumen**

Título

Objetivos, metodología

Contribución

(150-200 palabras)

**Indicar (3-5) palabras clave en Times New Roman y Negritas No.11**

#### **Abstract**

Title

Objectives, methodology

Contribution

(150-200 words)

**Keywords**

---

**Cita:** Apellidos en Mayúsculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayúsculas -2do Nombre de Autor. Título del Artículo. Título de la Revista. 2017, 1-1: 1-11 – [Todo en Times New Roman No.10]

---

---

† Investigador contribuyendo como primer autor



## Introducción

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?

Enfocar claramente cada una de sus características

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del artículo

## Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

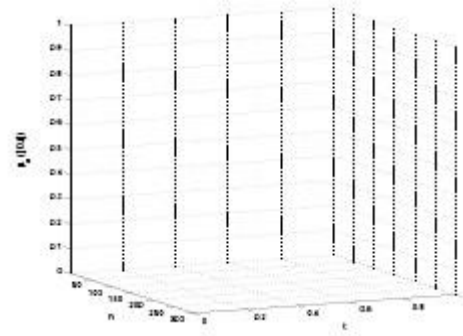
[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Artículos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

## Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas Editables

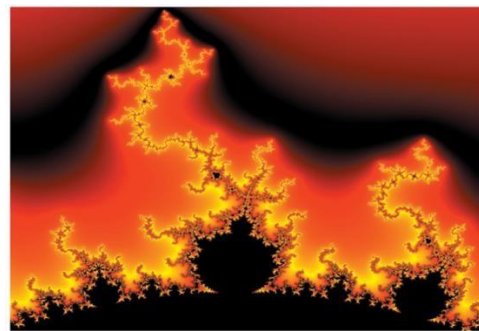
En el *contenido del artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[Indicando el título en la parte inferior con Times New Roman No.10 y Negrita]



**Grafico 1** Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.



**Figura 1** Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

**Tabla 1** Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

Cada artículo deberá presentar de manera separada en **3 Carpetas**: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Titulo secuencial.

## Instrucciones para autores

---

**Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:**

$$Y_{ij} = \alpha + \sum_{h=1}^r \beta_h X_{hij} + u_j + e_{ij} \quad (1)$$

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

### **Metodología a desarrollar**

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados

### **Resultados**

Los resultados deberán ser por sección del artículo.

### **Anexos**

Tablas y fuentes adecuadas.

### **Agradecimiento**

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

### **Conclusiones**

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

### **Referencias**

Utilizar sistema APA. **No** deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del artículo.

### **Ficha Técnica**

Cada artículo deberá presentar un documento Word (.docx):

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

**Formato de Originalidad**



Taipei-Taiwan a \_\_\_\_ de \_\_\_\_ del 20\_\_\_\_

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables por lo que deberán firmar los autores antes de iniciar el proceso de revisión por pares con la reivindicación de ORIGINALIDAD de la siguiente Obra.

Artículo (Article):

\_\_\_\_\_  
Firma (Signature):

\_\_\_\_\_  
Nombre (Name)

## Formato de Autorización



Taipei-Taiwan a \_\_\_\_ de \_\_\_\_ del 20\_\_\_\_

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables. En caso de ser aceptado para su publicación, autorizo a ECORFAN- Taiwan a difundir mi trabajo en las redes electrónicas, reimpresiones, colecciones de artículos, antologías y cualquier otro medio utilizado por él para alcanzar un mayor auditorio.

I understand and accept that the results of evaluation are inappealable. If my article is accepted for publication, I authorize ECORFAN- Taiwan to reproduce it in electronic data bases, reprints, anthologies or any other media in order to reach a wider audience.

Artículo (Article):

\_\_\_\_\_  
Firma (Signature)

\_\_\_\_\_  
Nombre (Name)

# Revista de Simulación Computacional

**“Diseño y desarrollo de un sistema de telemetría para el internet de las cosas en la agricultura de precisión”**

HERNÁNDEZ-SALAZAR, Jorge´, RAMOS-FERNÁNDEZ, Julio´,  
MÁRQUEZ-VERA, Marco´, PESSEL-Nathalie´´ & BALMAT, Jean´´

*´Universidad Politécnica de Pachuca*

*´´University of South-Toulon-Var*

**“Intervalo difuso tipo 2 con aprendizaje aplicado en control”**

MÁRQUEZ-VERA, Marco Antonio, ZÚÑIGA-PEÑA, Nadia Samantha´,  
RAMOS-VELASCO, Luis Enrique´´

*´Universidad Politécnica de Pachuca*

*´´Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo*

**“Método de esteganálisis adaptivo a las características de las imágenes”**

RAMÍREZ-RODRÍGUEZ, Ana Elena, JUÁREZ-SANDOVAL, Ulises,  
NAKANO-MIYATAKE, Mariko, CEDILLO-HERNÁNDEZ, Manuel

*Universidad Politécnica de Pachuca*

**“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*

ISSN: 2523-6865



[www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)