

# Prototipo para medir temblores manuales de naturaleza convulsiva y ritmo cardíaco

Prototype to detect manual tremors of convulsive nature and abnormal heart rhythm

Samuel Romero-Salgado<sup>1</sup>, Margarita Tecpoyotl-Torres<sup>\*2</sup>, J. Gerardo Vera-Dimas<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Maestría en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, IICBA-CIICAp, UAEM.

Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México, 62209.

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, IICBA-CIICAp, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, UAEM.

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, FCQeI, UAEM.

Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México, 62209.

samuel.ingelec@gmail.com, tecpoyotl@uaem.mx, gvera@uaem.mx.

## PALABRAS CLAVE:

tremor convulsivo, acelerómetro, SMS, ritmo cardíaco.

## RESUMEN

En este artículo se presenta el diseño e implementación de un prototipo para detectar temblores manuales de naturaleza convulsiva y ritmo cardíaco anormal. El prototipo utiliza un módulo de acelerómetro triaxial para la detección de temblores de naturaleza convulsiva, detectable de manera manual (tremor manual). Se realizó además, un módulo de detección de pulso para sentir el pulso cardíaco. Para el envío de alertas a teléfono celular, para cada una de los casos, se utiliza un módulo GSM (Global System of Mobile Communication), con el cual se envían los mensajes vía SMS (Short Message Service), a los contactos previamente determinados, médico o familiar. Además, se cuenta con una señal de alarma audible para alertar a las personas que se encuentren cercanas.

## KEYWORDS:

convulsive tremor, accelerometer, Short Message Service, heart rate.

## ABSTRACT

This paper presents the design and implementation of a prototype to detect manual tremors of convulsive nature and abnormal heart rate. The prototype uses a triaxial accelerometer module for the detection of tremors of a convulsive nature, manually detectable (manual tremor). A pulse detection module was also used to detect the cardiac pulse. In order to send alerts to mobile phone, for each case, a GSM (Global System of Mobile Communication) module is used. Messages are sent via SMS (Short Message Service), to predetermined contacts, medical or relatives. In addition, the prototype has an audible alarm signal to alert people that are nearby.

## 1 INTRODUCCIÓN

Muchos dispositivos electrónicos se han diseñado y utilizado para diversas aplicaciones, entre ellas se encuentran, las industriales, las dedicadas al entretenimiento, a la domótica y a las aplicaciones médicas. En esta última rama, se han desarrollado una gran cantidad de dispositivos y sistemas, tales como narices electrónicas, dispositivos de ayuda auditiva, marcapasos, oxímetros de pulso, monitores de actividad física personal, monitoreo de presión sanguínea, estetoscopios digitales, etc.

El trabajo presentado en este artículo se inició en 2014, se enfoca en la epilepsia, una de las enfermedades que aqueja a la humanidad. En 2001, la Organización Mundial de la Salud, OMS, declaró que la epilepsia es un problema de salud pública por su magnitud, trascendencia y vulnerabilidad. Se estimaban 37 millones de personas con epilepsia primaria en el mundo, lo cual alcanzaba a 50 millones, cuando se añade los que sufren de epilepsia secundaria [1], [2].

Desde el punto de vista clínico, se describe como como dos o más convulsiones no provocadas separadas en tiempo. Se sabe además, que existen diversos tipos de temores de naturaleza convulsiva. La palabra temer se deriva del latín tremere, que significa temblar. Los temores son movimientos involuntarios y rítmicos oscilatorios de los grupos musculares, por lo general involucran las manos, cabeza, cara, cuerdas vocales, tronco o las piernas.

Las crisis convulsivas son descargas eléctricas neuronales anormales que tienen manifestaciones clínicas variadas de origen multifactorial y que se asocian a trastornos clínicos (anormalidades electroencefalográficas) y que se presentan de manera no provocada [3].

Cada uno de nuestros pensamientos, sensaciones o acciones están controlados por células del cerebro que se comunican entre sí a través de impulsos eléctricos continuos. Una crisis convulsiva ocurre cuando este patrón se interrumpe debido a cambios súbitos de actividad eléctrica. La comunicación entre células se desarregla y los pensamientos, sensaciones o movimientos se desorientan o descontrolan momentáneamente.

A pesar de que las crisis convulsivas pueden ser perturbadoras, en muchos casos terminan sin ninguna intervención. Una vez que han pasado, la persona gradualmente recupera el control y se reorienta sin ningún efecto adverso. La mayoría de las personas diagnosticadas con epilepsia tienen las crisis convulsivas controladas con medicamentos.

Los temores pueden ser parciales o focales, o bien

generalizadas, dependiendo de la porción de cerebro involucrada. Por su complejidad, se dividen en diferentes subcategorías. En este artículo el interés se enfoca en las crisis convulsivas tónico-clónicas, las cuales son convulsiones generalizadas que comprometen todo el cerebro, es el tipo de convulsiones que la mayoría de la gente asocia con epilepsia. Algunas personas pueden experimentar un aura como sensación extraña en el estómago o un olor o sabor extraño inmediatamente antes de las convulsiones [4].

Un punto importante es que con regularidad se debe controlar la respiración de una persona que sufre un temer de naturaleza convulsiva, ya que en ciertas ocasiones durante la presencia de un temer de este tipo, la persona suele quedarse sin aire y cambiar su tonalidad de piel. Si esto sucede, ocurren complicaciones en el cuerpo de la persona que lo padece y es necesario controlar el vómito, si es que hubo, ya que esto puede ocasionar que pueda ahogarse.

Otro factor a considerar es el tiempo de duración que estos temores tengan, los cuales pueden durar de solo unos pocos segundos, hasta minutos. La frecuencia con la que pueden ocurrir los temores mencionados, depende de cada persona y de la edad de la misma.

Desgraciadamente, no existe aún cura médica para los temores de naturaleza convulsiva, solo se controlan. Por lo tanto, la persona que los padece está expuesta a que en cualquier momento de su vida pueda presentar un temer de esta naturaleza e incluso correr riesgo físico, si se encuentra en un lugar peligroso.

Se han realizado diversas investigaciones sobre la detección temores de naturaleza epiléptica. En [5], se realizaron pruebas de movimiento involuntario de la mano, utilizando un sensor de tipo acelerómetro, manteniéndolo en la mano de la persona bajo análisis, de forma relajada y en posición horizontal. La adquisición de datos se realizó a una velocidad igual a 330 Hz.

Por otro lado, en el artículo de [6], se realizaron pruebas de control, de esta manera se observaron los datos registrados en la PC y el comportamiento que tuvo el acelerómetro al ser sometido a movimientos de cada persona. Para visualizar el comportamiento gráfico, se utilizó una tarjeta de adquisición de datos DAQ M series NI USB 6120, que aunada al software LabVIEW 8.5, permitió grabar un número infinito de datos, los cuales fueron procesados para su comprensión.

A nivel comercial, se ha diseñado una pulsera llamada Embrace para la detección de ataques epilépticos. Se recomienda su uso además, para para el registro de

actividad y estrés de cualquier persona. La importancia del registro de los niveles de estrés se debe a que el estrés crónico se ha relacionado con numerosos problemas de salud, tales como enfermedades del corazón, obesidad y diabetes [7]. Embrace puede medir los ataques con mayor precisión gracias a que recoge datos sobre el movimiento del acelerómetro y giroscopio del aparato y los combina con mediciones de la conductividad de la piel.

El contenido de este artículo es el siguiente: En la sección 1, se presentan brevemente información sobre los tremores a analizar, los cuales son tremores manuales de naturaleza convulsiva de tipo tónico-clónica. En la sección 2, se presenta el diseño e implementación del prototipo, mientras que en la sección 3 se presentan las pruebas realizadas y en la sección 4 a los resultados obtenidos. Finalmente, en la sección 5 se presentan las conclusiones de este trabajo.

## 2. Diseño e implementación del sistema de detección

Algoritmo de detección del tremor manual de naturaleza convulsiva

Para realizar el algoritmo de detección del tremor manual de naturaleza convulsiva, se utilizó el software Arduino Uno versión 1.6.8. La condición de movimiento drástica tiene un umbral de  $g_{\text{mín}}=0.9$  g [8]. Para realizar el algoritmo de detección de un tremor manual de naturaleza convulsiva, se tomó como base este valor.

Se consideró tener un rango de medida de 0.9 g – 1.2 g. Para evitar que se presenten falsos positivos en la activación de la alarma, en el algoritmo diseñado se utilizaron interrupciones. También, se utilizaron contadores en dicho algoritmo, ya que ellos, en conjunto con las interrupciones, permiten tener control en la activación de la alarma.

El algoritmo a diseñar consiste en utilizar dos valores de g, uno es  $g_{\text{mín}}=0.9$  y el otro  $g_{\text{max}}=1.2$ . Se propuso tener un lapso de tiempo de 7 segundos (recuadro), ver Figura 1, el cual indica que en ese lapso de tiempo se contarán las veces que el algoritmo detecte los cambios de aceleración iguales a los valores mencionados anteriormente ( $g_{\text{mín}}$  y  $g_{\text{max}}$ ).

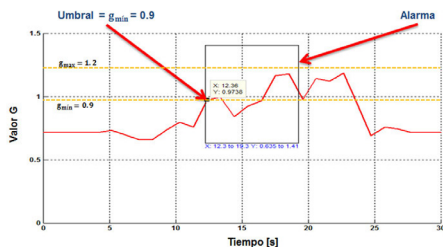


Figura 1. Configuración de la alarma.

El algoritmo está diseñado para que cada siete segundos se esté monitoreando si existen valores g entre 0.9 y 1.2, si en este lapso de tiempo se detectó por lo menos un solo valor en este campo de medida, se activa un conteo de las veces que el algoritmo realiza esta detección.

En este caso, si el algoritmo detecta más de cinco veces uno de estos valores g's, se procede a activar dicha alarma sonora en este prototipo. De lo contrario, si en el lapso de tiempo de siete segundos sólo se detectaron cuatro o menos valores g's, la alarma no se activará y pasados los siete segundos, el conteo de valores g's en el campo de medida considerado se reinicia de nuevo.

El algoritmo también se diseñó de tal manera, que una vez que se activa la alarma, se envía un mensaje de texto SMS al número de teléfono de la persona o médico a cargo del paciente con un mensaje de texto que dice "ALERTA: ¡ESTADO CONVULSIVO!". Para ello, se utilizó el módulo GSM SIM800L. Este módulo fue programado utilizando comandos AT [9]. Con este tipo de comandos se puede interactuar con la mayor parte de los módulos GSM de las series SIM800. Estos permiten conocer el estado del módulo, el año de fabricación del chip de dicho módulo y la compañía que lo fabricó. Mediante la utilización de los comandos AT, se diseñó el código para enviar el mensaje de texto SMS. Para entender mejor, cómo funciona el algoritmo diseñado para la detección de los tremores manuales de naturaleza convulsiva, alertar vía sonora y enviar el mensaje de texto SMS, se muestra en la Figura 2 el diagrama de flujo correspondiente.

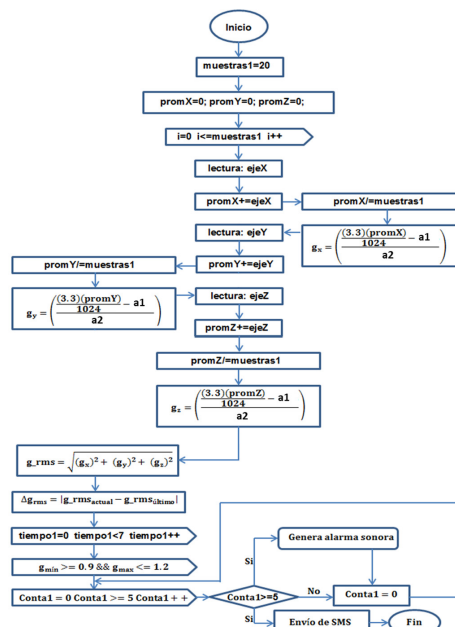


Figura 2. Diagrama de flujo para la detección de tremor

Circuito electrónico de la alarma

Se utilizó el software Livewire (versión 1.60), el cual permite diseñar circuitos electrónicos con elementos pre-establecidos con símbolos y el PCB Wizard (versión 3.50) que convierte los circuitos diseñados en Livewire automáticamente en un circuito impreso. En las Figuras 3 y 4, se muestran el circuito y la implementación física, respectivamente.

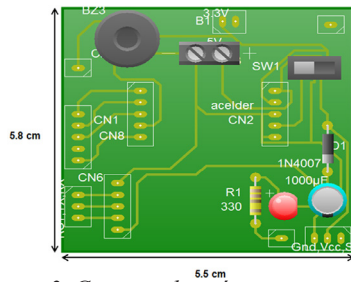


Figura 3. Circuito electrónico.

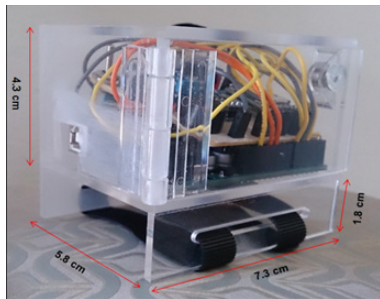


Figura 4. Prototipo para medir temores manuales de naturaleza convulsiva

Medición de la frecuencia cardíaca

Uno de los síntomas que presentan las personas que padecen temores manuales de naturaleza convulsiva, es que su frecuencia cardíaca cambia considerablemente, segundos antes de que tengan un temer de este tipo. Por ello, también se consideró realizar un sistema que monitorea la frecuencia cardíaca de la persona que portará dicho prototipo. En el circuito de la Figura 3, ya están incluidas las conexiones del módulo que medirá a la frecuencia cardíaca. En la Figura 5 se muestra el diagrama de flujo correspondiente.

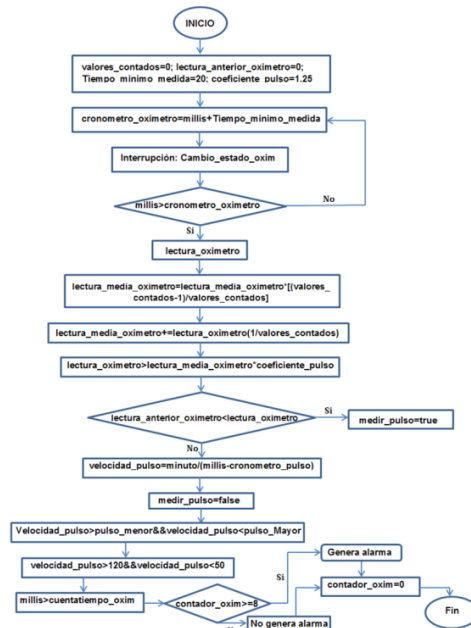


Figura 5. Esquema general de diagrama de flujo para la medición de la frecuencia cardíaca.

3. Pruebas

Cabe señalar que no fue posible realizar pruebas con pacientes que sufren algún tipo de temer de naturaleza convulsiva, por lo que se presentan simulaciones de detección de temer manual de naturaleza convulsiva. Se visitaron diversas clínicas, sin embargo no se contaba con el protocolo de ética requerido, el cual debe ser elaborado por personal relacionado en el ámbito de investigación médica y dar su aprobación, por medio de un comité interno.

Planificación para la simulación

Se trazó un círculo cuyo radio es igual a 8 cm (Figura 6). Esto se realizó con el fin de que cada uno de los temores a realizar de forma simulada tuviera las mismas longitudes de arco (Figura 7). Cabe señalar que, de casos conocidos, los movimientos manuales en los temores de naturaleza convulsiva tónico-clónica, tienen desplazamientos similares a los aquí considerados.

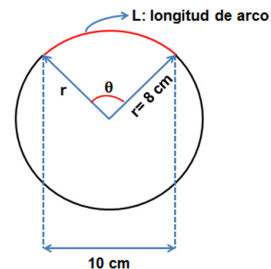


Figura 6. Círculo de pruebas para los temores manuales.

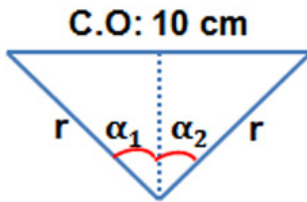


Figura 7. Variables para determinar la longitud de arco

Para calcular el valor del ángulo  $\theta$ , primero se calcularán los ángulos  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  para conocer el valor correspondiente a la longitud de arco:

$$\text{sen } \alpha_1 = (C.O/2)/h = (5 \text{ cm})/(8 \text{ cm}) \quad (1)$$

De donde se obtiene:

$$\alpha_1 = 38.68^\circ \quad (3)$$

Como el triángulo de la Figura 7 es isósceles:

$$\theta = \alpha_1 + \alpha_2 \quad (4)$$

El valor de  $\theta$  es  $77.36^\circ$ .

Para conocer el valor de la longitud de arco, se utiliza la siguiente relación:

$$L = 2\pi r \theta / (360^\circ) \quad (5)$$

donde  $L$  : Longitud de arco,  $r$ : Radio y  $\theta$ : Ángulo central que determina a la longitud de arco. La longitud de arco es  $L=10.80 \text{ cm}$ , la cual se utiliza para realizar los temblores manuales simulados. En la Figura 8 se presenta el arreglo experimental.

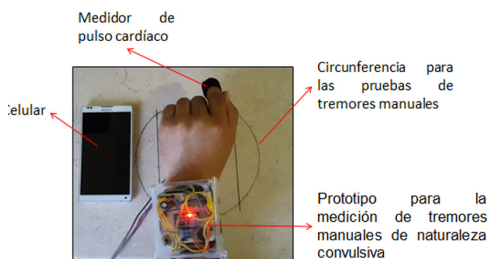


Figura 8. Arreglo experimental para la realización de temblores manuales, con una longitud de arco de 10.80 cm.

Cabe mencionar, que en la Figura 8 se ilustra el dispositivo de comunicación (teléfono celular) hacia donde se enviará un mensaje de texto SMS con el mensaje: “ALERTA: ¡ESTADO CONVULSIVO!” y se hará una llamada perdida a la persona o médico que esté encargado del paciente, una vez que sea activada la alarma.

Los temblores se realizaron en movimiento horizontal (izquierda – derecha) y con una frecuencia de movimiento de 4 Hz. En la Figura 9, se ve el cambio de la velocidad con respecto al tiempo una vez que ocurre un temblor manual simulado.

#### 4. Resultados de las simulaciones

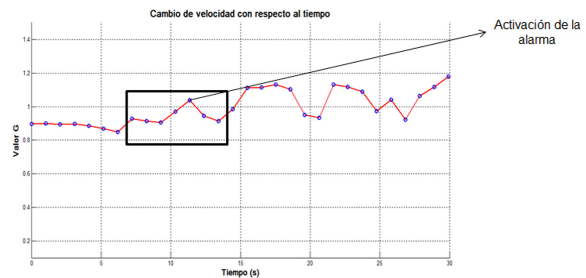


Figura 9. Medición del temblor manual simulado con respecto al tiempo.

Como se observa en la Figura 9, el eje de las abscisas corresponde al tiempo de la duración del temblor manual simulado, mientras que el eje de las ordenadas, a los valores de  $G$  (obsérvese que este valor se denotó anteriormente como  $g$ ). El valor  $G$  corresponde al valor obtenido del cálculo del módulo de las tres señales del acelerómetro. La tasa de muestreo en cada una de las pruebas fue de 20 Hz. Por consiguiente, en cada segundo de muestreo, el algoritmo toma 20 lecturas en los tres ejes del acelerómetro. La duración de la medición del temblor manual simulado fue de 30 segundos, tal como se ilustra en el eje de las abscisas de esta figura.

En la Figura 10, los ejes se establecen de la misma forma que la Figura 9. La medición del temblor se realizó durante 30 segundos. La tasa de muestreo fue igual a la utilizada en la prueba hecha para la Figura 9. Como se ve en la Figura 10, la alarma se activa a partir de los 5 segundos.

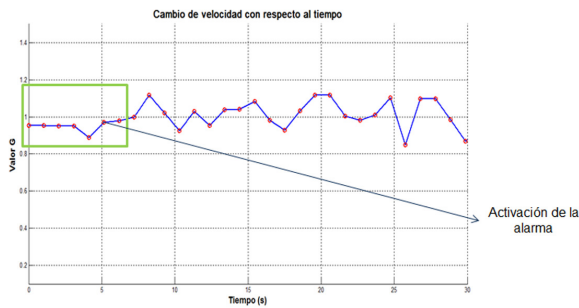


Figura 10. Medición del temblor manual simulado con diferente tiempo de activación de la alarma.

Los valores graficados a partir de los 7 segundos de esta figura, son el resultado de la continuación del temblor manual simulado.

Una vez que se activa la alarma sonora, el algoritmo envía el mensaje de texto SMS y realiza la llamada perdida, como se ilustra en la Figura 11.

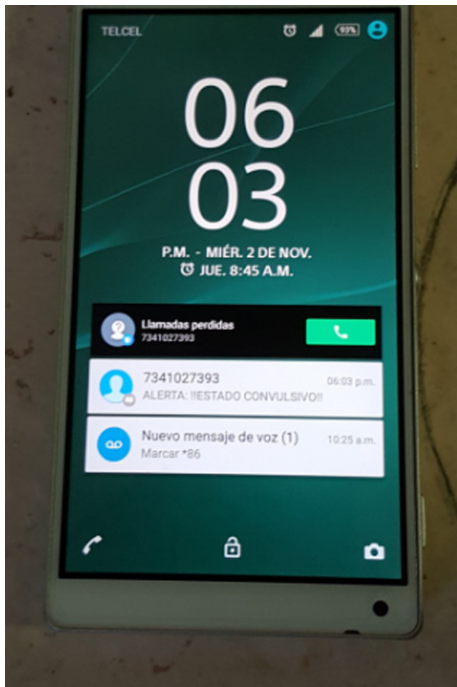


Figura 11. SMS y llamada perdida.

### 5. Conclusiones

Actualmente, el prototipo está establecido para activar la alarma en valores de aceleración, cuyos valores se encuentran entre 0.9 g - 1.2 g. Estos valores mínimo y máximo fueron tomados de [8], ya que no nos fue posible realizar mediciones de temblores manuales en pacientes con este padecimiento.

La medición de la frecuencia cardíaca en este prototipo se hizo con el objetivo de, posiblemente, anticipar la presencia de un temblor manual de naturaleza convulsiva. Esto es, a manera de pre-alerta, ya que la frecuencia cardíaca cambia considerablemente justo antes de que exista un temblor de este tipo.

El prototipo para la medición de temblores manuales de naturaleza convulsiva puede disminuir su tamaño, utilizando componentes más pequeños. Estos componentes son el módulo GSM, el módulo del acelerómetro y los componentes electrónicos. Cabe destacar que lo anterior incrementaría el costo del prototipo, que actualmente tiene un costo aproximado de 800 pesos mexicanos. Es recomendable además, el uso de tecnología planar para los componentes en los que sea posible su implementación.

Puede implementarse además, un elemento adicional al acelerómetro, tal como un amplificador de movimiento, mejorando la sensibilidad de desplazamiento. Ambos pueden fabricarse de manera monolítica.

El envío de alertas puede realizarse mediante una aplicación para teléfonos móviles, proporcionando el despliegue de todas las variables medidas.

Cabe resaltar, que es necesario realizar diversos estudios de la frecuencia cardíaca en personas con estos padecimientos, con la finalidad de obtener un patrón más definido en la prealerta generada con el prototipo.

Es recomendable hacer estudios de la actividad electrodermica en pacientes, ya que esto permitirá tener mediciones eléctricas más exactas y tener una prealerta todavía más fiable.

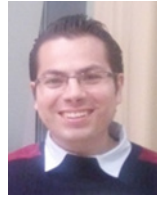
## 6. Referencias

- [1] Acevedo Carlos (coordinador). Informe sobre la epilepsia en Latinoamérica. Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud y el Departamento de Salud Mental y Abuso de Sustancias de la Organización Mundial de la Salud. 2008. Recuperado el 8 de Mayo de 2017 de [http://new.paho.org/hq/dmdocuments/2008/Informe\\_sobre\\_epilepsia.pdf](http://new.paho.org/hq/dmdocuments/2008/Informe_sobre_epilepsia.pdf)
- [2] Reséndiz Aparicio J, Rodríguez Rodríguez E, Rivera Quintero J. C, Cruz Martínez E, Aguirre García E. Guía Clínica, Epilepsia. Secretaría de Salud, México. 2007. Recuperado 4 de Abril de 2017 de [http://www.sap.salud.gob.mx/media/61208/nav\\_guias11.pdf](http://www.sap.salud.gob.mx/media/61208/nav_guias11.pdf).
- [3] Instituto Mexicano del Seguro Social. Diagnóstico y Tratamiento de la Primera Crisis Convulsiva en Niños. IMSS-244-09. 2009.
- [4] MME. Primeros auxilios en caso de crisis convulsiva. Australia: Epilepsy Australia, MME. 2a edición. 2004.
- [5] Barkley Graham, B. Using an accelerometer sensor to measure human hand motion. Thesis of Master, Dep. Electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts USA. 2000.
- [6] Arguelles Pacheco, E. Sensores de aceleración para la detección de la actividad física del paciente. Tesis de Licenciatura, Dep. Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Cd. Juárez Chihuahua. 2011.
- [7] Embrace: la pulsera que alerta los ataques epilépticos. (2016, Octubre 30). Recuperado el 10 de Julio de 2017 de Ciencia y Tecnología: <http://invdes.com.mx/innovacion/embrace-la-pulsera-que-alerta-los-ataques-epilepticos/>
- [8] Langley, P. An algorithm to distinguish ischaemic STchanges in the holter ECG. IEEE Proc. 2003, 239-242.
- [9] SIM Tech. SIM800 Series AT Commands Manual. 2013.

Acerca de los autores



Samuel Romero Salgado estudió la Ingeniería en Electromecánica en el Tecnológico de Zacatepec de Hidalgo. Realizó dos estancias profesionales en el Instituto de Energías Renovables, IER, de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. Presentó un proyecto en un congreso nacional y otro en un congreso internacional. Obtuvo el grado de Maestría en Ingeniería y Ciencias Aplicadas por el CIICAp-IICBA de la UAEM, en 2017. Actualmente, labora en NYCE México.



José Gerardo Vera Dimas es ingeniero en Electrónica graduado del Tecnológico de Morelia. Recibió el reconocimiento “EGRETEC 2009” por parte de la Asociación de Egresados del Instituto Tecnológico de Morelia. Recibió el grado de Maestro en Ingeniería y Ciencias Aplicadas en Eléctrica por la UAEM con mención honorífica, y el grado de doctorado en 2015. Actualmente, trabaja en la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería de la UAEM. Es miembro Candidato del Sistema Nacional de Investigadores, SNI, desde enero de 2017.



Margarita Tecpoyotl-Torres es Licenciada en Matemáticas (1991) y Licenciada en Electrónica (1994) por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Obtuvo los grados de Maestría y Doctorado en Ciencias en Electrónica por parte del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) en 1997 y 1999, respectivamente. Trabaja desde 1999 en el Centro de Investigación en CIICAp-IICBA de la UAEM, donde actualmente es profesora titular. Sus principales líneas de investigación incluyen MEMS, diseño de antenas, dispositivos de microondas, innovación y emprendimiento. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores SNI, desde 1999.