

Aproximación de un prototipo no invasivo para la detección de lesiones de rodilla usando sensores mioeléctricos.

Approach of a non-invasive prototype for the detection of knee injuries using myoelectric sensors.

Carlos Jonas Rosas Pérez (1).

Estudiante, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Computación,
carlosjonas01@gmail.com.

Luis Enrique Colmenares-Guillén* (2). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Computación, lecolme@gmail.com.

Elsa Chavira Martínez (3). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Computación, elsachavira56@hotmail.com.

José Luis Hernández Ameca (4). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Computación, amecajl@hotmail.com.

*corresponding author.

Artículo recibido en diciembre 12, 2019; aceptado en diciembre 20, 2019.

Resumen.

La Condromalacia Rotuliana se define como la consecuencia de un tipo de lesión con causas multifactoriales. Se caracteriza por la degeneración del cartílago en la rótula y con dolor de ubicación difusa, retro o peripatelar. Las lesiones aumentan con la actividad física, al doblar la rodilla, o al ascenso y descenso de escaleras. Se propone una herramienta no invasiva para detectar el desgaste del cartílago en la lesión. La importancia de esta herramienta debe ser utilizada para complementar el diagnóstico del profesional fisioterapeuta al evaluar la lesión llamada Condromalacia Rotuliana o Patelar. El profesional fisioterapeuta, determinará el grado de la lesión en la rodilla, utilizando la lectura de impulsos electromiográficos de músculos, ligamentos y tendones. Consiste en colocar 8 de sensores, modelo SEN_13723 con electrodos de almohadilla, integrados a modo de rodillera en las ubicaciones siguientes: en el vasto medial, vasto lateral, vasto intermedio, fascia lata, músculos gemelos, músculo sartorio, músculo tibial anterior y músculo peroneo largo. Con el propósito de detectar señales mioeléctricas de los músculos y así ayudar al profesional fisioterapeuta para realizar la terapia adecuada, haciendo uso de las tecnologías actuales.

Palabras clave: Condromalacia patelar, sensor, electromiográfico, cartílago, no invasivo.

Abstract.

Chondromalacia Rotuliana is defined as the consequence of a type of lesion with multifactorial causes. It is characterized by degeneration of the cartilage in the patella and with pain of diffuse, retro or peripatellar location. Injuries increase with physical activity, when bending the knee, or when ascending and descending stairs. A non-invasive tool is proposed to detect cartilage damage in the lesion. The importance of this prototype should be used to complement the diagnosis of the professional physiotherapist when evaluating the lesion called Chondromalacia

Rotuliana or Patelar. The professional physiotherapist will determine the degree of knee injury, using the reading of electromyographic impulses of muscles, ligaments and tendons. It consists of placing 8 sensors, model SEN_0708 with pad electrodes, integrated as a kneepad in the following locations: in the medial vastus, vastus lateralis, fascia can, twin muscles, sartorius muscle, anterior tibial muscle and long peroneal muscle. With the purpose of detecting myoelectric signals of the muscles and thus help the professional physiotherapist to perform the appropriate therapy, using current technologies.

Keywords: Chondromalacia patella, electromyographic, sensor, cartilage, non-invasive.

1. Introducción.

Para analizar la condromalacia patelar, se debe tener conocimiento de las posibles causas, siendo una de ellas, el sobrepeso, la mala alimentación y falta de ejercicio, causando el aumento de peso y baja condición física, lo cual genera alto impacto en las rodillas, incapaces de soportar adecuadamente el peso. Otros factores son los deportes que generen impactos en la rodilla (p/e: ciclismo, atletismo, etc.), la alineación de la rodilla y falta de vascularización del hueso debajo del cartílago. El sobrepeso (Organización Mundial de la Salud, 2018) y sedentarismo (Secretaría de Salud México, 2015), ya sea voluntario o por cuestiones laborales, propician a que las personas tengan este tipo de padecimientos y no puedan tener actividades físicas adecuadas para una óptima calidad de vida, aunado a ello, la mala alimentación contribuye de manera significativa, ya que, a falta de una cultura adecuada de la alimentación, se solventan dichos problemas. Basándose en estadísticas de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018), las lesiones más frecuentes que desencadenan la condromalacia patelar se clasifican de la siguiente manera:

- ❖ Deportivas.
 - Síndrome de Estrés Rótulo-Femoral (rodilla de corredor) (Moloney 2016).
 - Luxación Aguda de Rótula (Álvarez López 2009).
- ❖ Por edad.
 - Artrosis. (Márquez Arabia 2014).
- ❖ Traumatismos.
 - Artrosis de rodilla asociada a traumatismos severos. (Márquez Arabia 2014).
 - Lesión de los ligamentos colaterales. (Hernández Hermoso 2012).

Se clasifica en tres grados de acuerdo a la severidad anatómica de la lesión (ver Figura 1):

 - Grado I: Reblandecimiento o aspecto ampolloso.
 - Grado II: Fibrilación superficial o fisuras leves en el área afectada.
 - Grado III: Fibrilación profunda con fisuras que afectan a más de la mitad del espesor del cartílago.
 - Grado IV: Erosión del cartílago hasta el hueso subcondral (exposición del hueso subyacente).
 - Lesión del ligamento cruzado anterior (LCA).

Por un traumatismo directo en cara lateral de la rodilla con pie fijo a causa de:

 - Caída violenta con apoyo monopodal.
 - Hiperextensión de la rodilla.

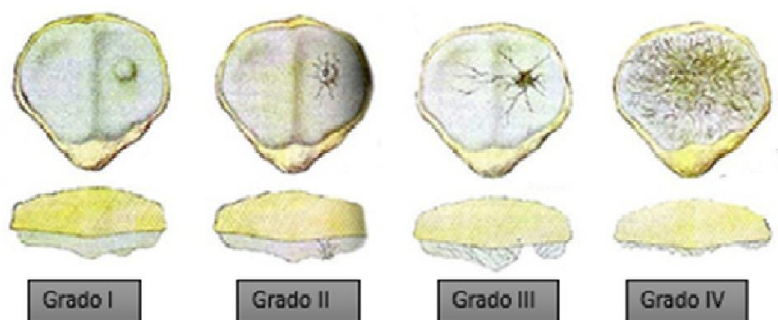


Figura 1. Grados de lesión y desgaste cartilaginosa en la rótula.

Existen distintas pruebas para evaluar el grado de lesión en una rodilla y para diagnosticar algún tipo de enfermedad musculo esquelética, entre las cuales están las pruebas de laboratorio usadas de manera complementaria, por mencionar las siguientes (Villa-Forte 2017):

- ❖ La velocidad de sedimentación globular. Empleado para detectar la presencia de inflamación debida a causas como infecciones, tumores o enfermedades autoinmunes.
- ❖ Determinar los niveles de creatinquinasa. Utilizado para detectar y monitorizar un daño muscular; para establecer el diagnóstico de enfermedades asociadas a daño muscular.
- ❖ Artritis Reumatoide.

Existen otros estudios con imágenes para el diagnóstico de trastornos musculo esqueléticos y lesiones, tanto invasivos como no invasivos, los cuales son:

- ❖ Rayos X (Umivale 2011).
- ❖ Densitometría ósea o DMO (Hernández Martín 2014).
- ❖ Tomografía computarizada (TC) o Tomografía Axial Computada (Umivale 2011).
- ❖ Resonancia Magnética Nuclear (RMN) (García Peñalvo & García Holgado 2018).
- ❖ Ecografía (Díaz Rodríguez 2007).
- ❖ Gammagrafía ósea (RadiologyInfo.org. 2018).
- ❖ Artrocentesis (Suárez Martín 2016).
- ❖ Artroscopia (Morales Piñeiro 2016).
- ❖ Cintigrama Óseo (CO) (Humeres Apra 2002).

La desventaja de la mayoría de estos estudios mencionados anteriormente es su carácter invasivo para el paciente, de difícil acceso para ciertos sectores de la sociedad de un gran tamaño, de difícil portabilidad y el usar métodos radiactivos en ciertos estudios resulta perjudicial en un determinado tiempo.

La electromiografía de superficie (Ibarra Lúzar 2005) actualmente se usa en distintas áreas del sector médico, debido a la facilidad al colocar los electrodos de forma no invasiva. En la parte de la captación de las señales musculares, se debe tomar en cuenta que los cambios electroquímicos de la fibra muscular producen campos eléctricos variables en el tiempo que pueden ser detectados por electrodos de superficie. Por un lado, existe la ventaja en los electrodos de tener fácil colocación al ser no invasivos, sin embargo, hay que tomar en cuenta la sensibilidad respecto a su respectiva ubicación en la parte de la piel, teniendo un efecto evidente en la amplitud de la señal obtenida.

Para la captura de una señal electromiográfica, existen los sensores electromiograficos (EMG) (Villamizar Pinzón 2012) los cuales permiten registrar la actividad eléctrica generada por los músculos esqueléticos cuando realizan algún movimiento, de este modo la señal registrada (analógica) puede ser utilizada para controlar diversos dispositivos como prótesis, sillas de ruedas y robótica, por mencionar algunas y con el uso de estos sensores junto a un diseño ergonómico, favorecen el desarrollo de instrumentos más fáciles de usar y portar.

Existen tecnologías con sensores no invasivos, usando sensores EMG, por ejemplo, la pulsera/brazaletes MYO de Thalmic Labs (Oyanedel 2013). La pulsera Myo es un dispositivo desarrollado por la compañía Thalmic Labs, con el propósito de controlar diferentes dispositivos con gestos de los brazos, dirigido principalmente a desarrolladores.



Figura 2. Pulsera MYO, compañía Thalmic Labs con sus respectivos componentes internos.

Es un dispositivo portátil compuesto de ocho electrodos electromiográficos, una unidad de medición inercial de 9 ejes y un módulo de transmisión. Envía los datos relacionados con las señales detectadas, a través de la tecnología Bluetooth “Low Energy” a otros dispositivos electrónicos que los procesan y actúan en consecuencia, dependiendo de cómo estén programados. Se coloca en el antebrazo debido a que en este punto se pueden recibir los movimientos del brazo, la muñeca y los dedos, teniendo amplias posibilidades para configurar el dispositivo a conveniencia del usuario. Con esta tecnología basada en sensores no invasivos, además de usarse para monitoreo aéreo mediante drones, también es utilizada en el sector médico, por ejemplo, en la robótica enfocada al control de prótesis en el cuerpo humano, en el sector industrial y para el desarrollo de una gran variedad de aplicaciones tecnológicas.

La necesidad de proponer el diseño y análisis de una herramienta no invasiva es debido al actual crecimiento tecnológico que permite crear herramientas más sofisticadas de apoyo para nuestro beneficio, en este caso, el área de la salud y movilidad.

El uso de estos sensores, junto a un diseño ergonómico, favorece el desarrollo de herramientas más fáciles de usar y portar.

2. Métodos.

Un modelo evolutivo (Boehm 2006) se adapta a la evolución que sufren los requisitos del sistema en función de un tiempo determinado, dividiéndose en estas categorías:

- Incremental.
- Iterativo.
- En Espiral.

El Prototipado Evolutivo forma parte de los Modelos Evolutivos y posee las siguientes características:

- Enfoque de desarrollo que se utiliza cuando no se conoce con seguridad lo que se quiere construir, para este proyecto se conoce lo que se requiere construir y aun se analiza su alcance.
- Se comienza diseñando e implementando las partes más destacadas del sistema.
- La evaluación del prototipo proporciona la realimentación necesaria para aumentar y refinar el prototipo.
- El prototipo evoluciona y se transforma en el sistema final.

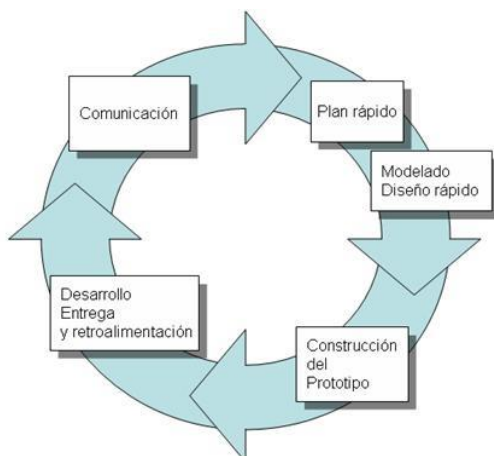


Figura 3. Etapas de desarrollo en el Prototipado Evolutivo.

Plan rápido.

Se realiza el análisis y diseño de una estructura organizacional para la solución del problema, uniendo conocimientos del área computacional y médica, teniendo la hipótesis inicial y con la respectiva investigación, ir mejorando las diferentes versiones hasta que se obtenga la versión del proyecto esperado. Se planea usar el “Prototipado Evolutivo” para el desarrollo del proyecto, consistiendo en el concepto del desarrollo de una implementación inicial, aplicando los cambios necesarios y refinándola a través de las diferentes versiones hasta desarrollar el sistema adecuado.

Modelado de Diseño Rápido.

El objetivo del diseño de esta propuesta es funcionar como un instrumento tecnológico de apoyo al fisioterapeuta para un diagnóstico más preciso al evaluar la lesión en el paciente que provoque la condromalacia patelar. El instrumento tecnológico propuesto debe mostrar, mediante la adquisición de una señal electromiográfica en un sensor, unas gráficas comparativas de una articulación sana con la lesión del paciente.

Se han realizado investigaciones en el área médica relacionadas al proyecto propuesto:

- Estructura de la rodilla.
- Componentes principales.
- Mecánica de la rodilla.

En el área tecnológica se ha investigado algunos tipos de mecanismos y herramientas de evaluación en lesiones en rodillas y la forma de plasmar dichos datos en un dispositivo.

Construcción del prototipo.

Realizar un método de desarrollo basado en Prototipado Evolutivo, y obtener una herramienta con los resultados planeados.

- a. Uso del IDE correspondiente, realizando pruebas alámbricas y después realizar una conexión inalámbrica con una tarjeta de desarrollo (Arduino, Raspberry, NVIDIA Jetson).
- b. Después del uso de la tarjeta de desarrollo (Arduino, Raspberry, NVIDIA Jetson) junto con los sensores, como trabajo a futuro se plantea desarrollar una tarjeta personalizada y adecuada al proyecto a realizar.
- c. Interfaz gráfica. Teniendo en cuenta la adquisición de la señal electromiográfica, su respectiva lectura e interpretación del potencial eléctrico, se mostrará en computadora por medio de gráficas, mediante comparación en mediciones de articulaciones sanas con la del paciente evaluado.

Desarrollo, entrega y retroalimentación.

Con el trabajo de investigación realizado, el análisis del planteamiento de la herramienta a desarrollar, comparando los resultados obtenidos con las tecnologías y soluciones existentes para la evaluación de lesiones en rodillas, posteriormente la elaboración de la propuesta, se espera realizar pruebas evaluativas con pacientes sanos y con lesión, para comparar y guardar los datos obtenidos. Si se encuentra base de datos sobre lesiones se compararía, si no, realizar propia base de datos, con pacientes sanos y con pacientes lesión.

Comunicación.

En base a las correcciones y aclaraciones correspondientes con los especialistas en el área médica para detallar el prototipo final. La dinámica del funcionamiento general de la propuesta puede explicarse en el siguiente diagrama de bloques funcional, visuaizar la figura 4:

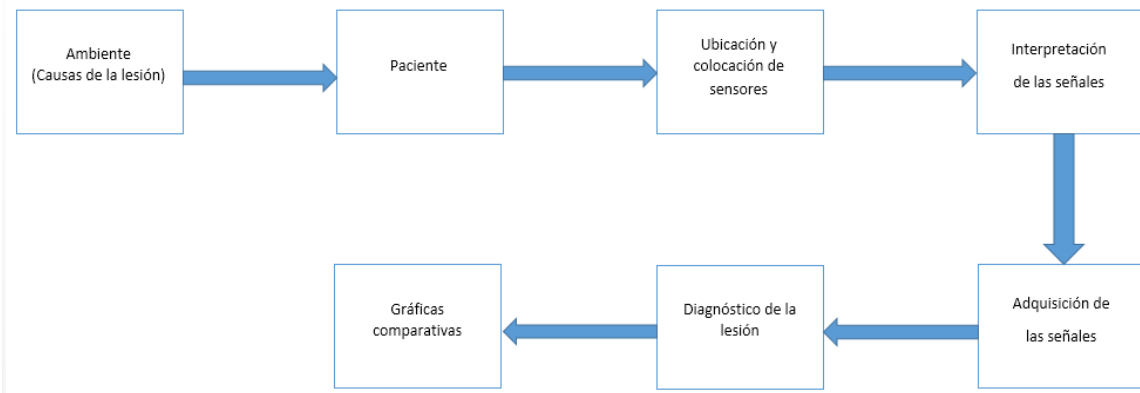


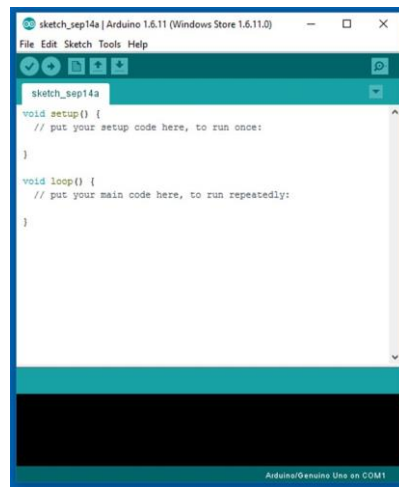
Figura 4. Diagrama de bloques funcional.

3. Desarrollo.

En la figura 5 se muestran las capturas de pantalla de la tarjeta de desarrollo y su entorno de la plataforma electrónica de código abierto Arduino, que se utilizará para el procesamiento y lectura de los sensores.



(a)



(b)

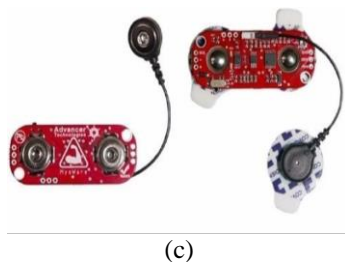


Figura 5. Materiales propuestos a usar.
(a) Placa Arduino (Tecmikro, 2019).
(b) Entorno de desarrollo IDE Arduino (Microsoft Store 2016).
(c) Sensor electromiográfico SEN_13723 SPARKFUN. (Sparkfun. (2018).

Generalmente se definen a los músculos como un tejido blando que puede contraerse mediante impulsos nerviosos, generando movimiento y permitiendo realizar trabajos mecánicos.

Se pueden clasificar como sigue:

- **Músculo esquelético.**
Recubren los huesos del cuerpo humano y están unidos a éstos mediante tendones, permitiendo el movimiento voluntario controlados por el Sistema Nervioso Somático.
- **Músculo liso.**
Recubre los órganos internos, el tracto digestivo, las glándulas secretoras contraídos más lentamente a comparación de los músculos esqueléticos, sin movimientos voluntarios y siendo controlados por el Sistema Nervioso Autónomo
- **Músculo cardíaco.**
Son los que forman parte del corazón mostrando conductividad y excitabilidad muy por encima del resto de tejidos musculares.

Los músculos esqueléticos están formados por fibras constituidas de miofibrillas, que a su vez están formadas por miofilamentos. Los miofilamentos son pequeños hilos hechos de dos proteínas distintas: la miosina y la actina. La actina se entrelaza con la miosina, formando enlaces, sirviendo para tirar de los filamentos y contraer el músculo.

Los impulsos nerviosos enviados por el cerebro liberan iones de calcio (Ca^{++}), cambiando la configuración, desplazando a la troponina y la tropomiosina, este proceso realizado permite que los miofilamentos de actina formen puentes con los de miosina y se desplacen sobre ellos, acortando la longitud de las fibras musculares, lo que contrae el músculo.

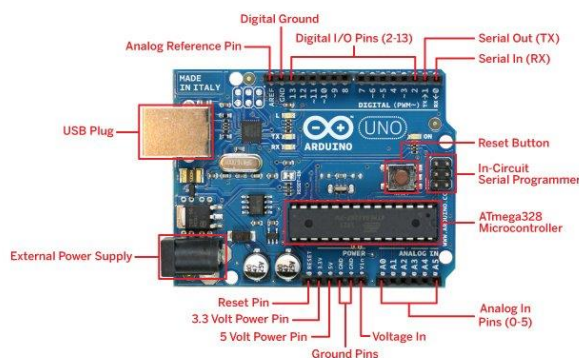


Figura 6. Placa Arduino UNO, mapa de pines (Crespo 2016).

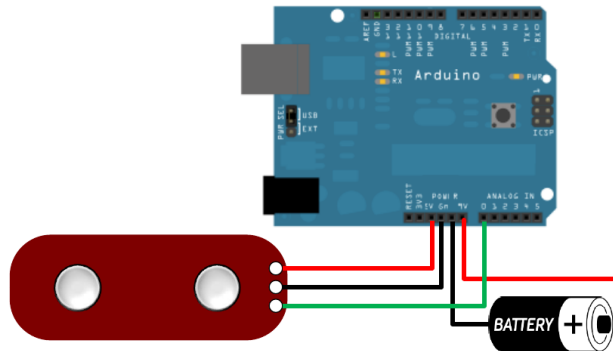


Figura 7. Conexiones necesarias del sensor a la tarjeta de desarrollo Arduino (Lang A 2017).

Con el uso de sensores electromiográficos no invasivos en la propuesta del prototipo, a continuación, se muestra en la figura 8, la colocación propuesta de los electrodos del sensor EMG en los músculos de la pierna.

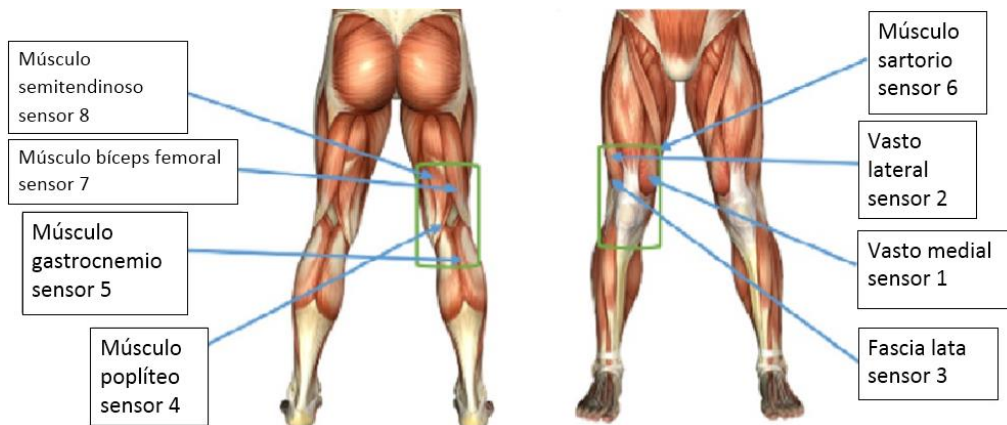


Figura 8. Propuesta de ubicación de los 8 sensores electromiograficos no invasivos.

La articulación de la rodilla es una de las más complejas en el cuerpo humano, compuesta de las siguientes estructuras: huesos, músculos, ligamentos y tendones, teniendo estas estructuras a su vez una composición también compleja.

Existen músculos y tendones utilizados en rodilla que ayudan a los movimientos de flexión y extensión, divididos en dos grupos: extensores y flexores.

El más importante músculo extensor en la rodilla son los cuádriceps femorales, formados por el recto anterior, vasto interno, vasto externo y vasto intermedio, junto con la fascia lata. Por el lado de los músculos flexores, se encuentra compuesto músculo semitendinoso y semimembranoso, bíceps femoral, músculo gastrocnemio, poplíteo, entre otros, por ende, en la investigación realizada, se eligieron los músculos mencionados en la figura 8, como propuesta inicial, ya que son unos de los principales músculos involucrados en la mecánica del movimiento en la rodilla (Queipo de Llano Giménez 2016; De Leonardo Girard 2008).

El siguiente ejemplo de código fuente para Arduino.

Código 1. Control de una señal electromiográfica.

```

/*
MyoWare_TwoEMG
Reads an analog input on pin 0 and converts it to voltage,
and prints the result to the serial monitor.
Attach the center pin of the board to pin A0,
and the outside pins to +5V and ground.
*/
int iA0;
int maA0;
float voltagesmoothA0;
float totalA0;

void setup() {
// initialize serial communication at 9600 bits per second:
Serial.begin(9600);
iA0=0;
totalA0=0;
maA0=0;
voltagesmoothA0=0;
}

void loop() {
// read the input on analog pins 0 (hand) and 1 (wrist):
int sensorValueA0 = analogRead(A0);
// Convert the analog reading (from 0 - 1023)to(0 - 5V):
float voltageA0 = sensorValueA0 * (5.0 / 1023.0);
// print out the value you read:
//Serial.println(voltage);

//Data Smoothing Hand
if (iA0&&<20){
//smoothing by five values
totalA0 = totalA0 + voltageA0;
voltagesmoothA0=totalA0/20;
iA0++;
}
else if (iA0==20){
//reset counter to zero
//Serial.println(voltagesmooth);
iA0=0;
totalA0=0;
voltagesmoothA0=0;
}

//Serial.println(total);
//Serial.println(voltagesmooth);
//Serial.println(i);

//See if there is an activation
if (voltagesmoothA0 &&> 4 &&&&&& maA0 == 0){
Serial.print(&&quot;Muscle Activated: Open Hand \n&&quot;);
Serial.println(voltagesmoothA0);
maA0 = 1;
delay(2000);
iA0=0;
totalA0=0;
voltagesmoothA0=0;
}
if (voltagesmoothA0 &&> 4 &&&&&& maA0 == 1){
Serial.print(&&quot;Muscle Activated: Close Hand \n&&quot;);
Serial.println(voltagesmoothA0);
maA0 = 0;
delay(2000);
iA0=0;
}
}

```

```
totalA0=0;
voltageSmoothA0=0;
}
}
```

La salida en el IDE Arduino con la configuración del código 1, sería como la siguiente figura 9.

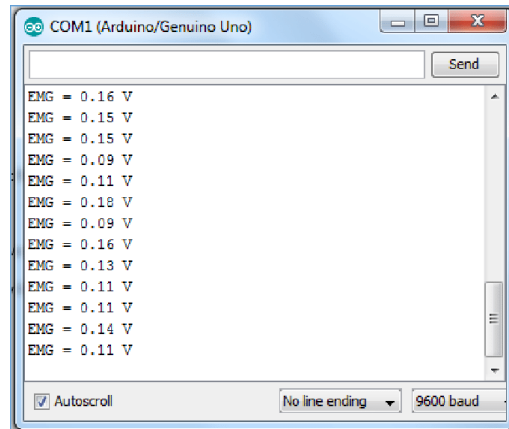


Figura 9. Salida de una señal en Arduino (Ahmed, 2016).

Se obtiene una señal electromiográfica procesada, integrada y rectificada, como en la figura 10, para determinar una posible clasificación de señales.

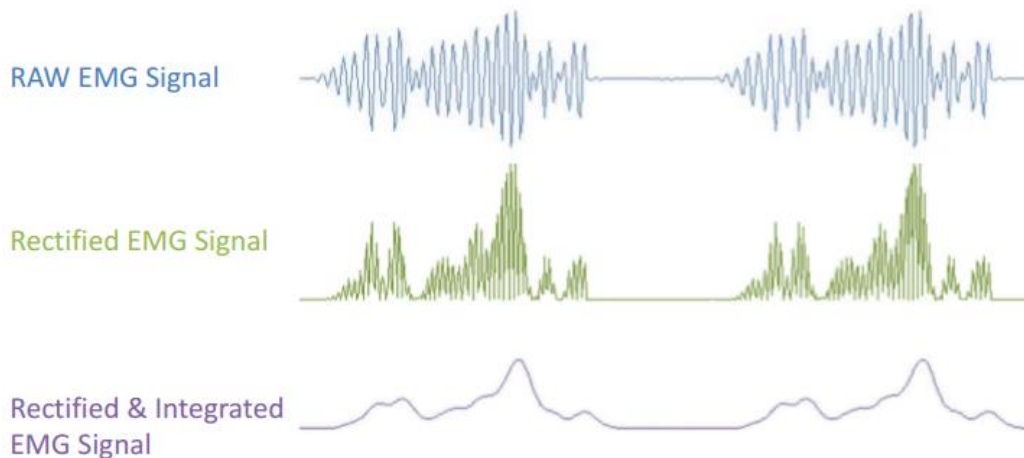


Figura 10. Señal EMG procesada (Advancer Technologies, 2015).

Una vez teniendo la placa Arduino con el sensor EMG con la señal (Fig.10) se espera clasificar las señales electromiográficas en los rangos adecuados y así determinar que lesión o lesiones generan la condromalacia patelar.

Conclusiones.

En esta propuesta de un prototipo no invasivo para la detección de lesiones de rodilla usando sensores mioeléctricos, se generó un diagrama de bloques funcional, para tener la visión sistémica del problema. Se propuso la ubicación de

los sensores electromiográficos en la rodilla basado en la experiencia de los profesionales fisioterapeutas. Se realizó el primer código para identificar las señales electromiográficas en los músculos sincronizando con los sensores y tener una aproximación con los músculos, tendones o ligamentos. Se obtuvieron las primeras gráficas de las señales para detectar la condromalacia patelar.

Obteniendo los datos necesarios para identificar lesiones, se realizaría una base de datos y generar estadísticas del hallazgo clínico, así poder mejorar la calidad de vida del paciente y sanar de mejor manera la lesión en la rodilla.

Referencias Bibliográficas.

- Advancer Technologies. (2015).** MyoWare™Muscle Sensor (AT-04-001) DATASHEET. Diciembre 8 2019, de Sparkfun Electronics Sitio web: <https://cdn.sparkfun.com/assets/a/3/a/f/a/AT-04-001.pdf>
- Ahmed, S. (2016).** Intelligent Bio-Detector. Open Journal of Applied Sciences, 6, 903-937.
- Álvarez López A., García Lorenzo Y., Casanova Morote C., Muñoz Infante A. (Nov-Dic 2009).** Luxación aguda de la rótula. Revista Archivo Médico de Camagüey, Volumen 13, num. 6, Páginas: 9. Diciembre 2018, De SciELO Base de datos.
- Boehm B. (May 25, 2006).** A View of 20thand 21stCentury Software Engineering. University Park Campus, Los Angeles: ICSE 2006 Keynote Address.
- Crespo J.E. (Junio 27 2016).** Arduino Uno a fondo. Mapa de pines. Diciembre 8 2019, de Aprendiendo Arduino WordPress Sitio web: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/06/27/arduino-uno-a-fondo-mapa-de-pines-2/#comments>
- De Leonardo Girard L. M. (Mayo 2008).** Capítulo 2. Biomecánica de la rodilla. En Tesis: Diseño y construcción de prototipo de prótesis de rodilla (páginas: 29 a 44). Universidad de las Américas Puebla: Bibliotecas UDLAP.
- Díaz Rodríguez N., Garrido-Chamorro R. P. & Castellano-Alarcón J. (agosto 2007).** Metodología y técnicas. Ecografía: principios físicos, ecógrafos y lenguaje ecográfico, Medicina de Familia. SEMERGEN, Volumen 33. Num. 7, Páginas 362-369. Febrero 2018, De Elsevier.es Base de datos.
- García Peñalvo F. J. & García Holgado A. (20-2-2018).** Ingeniería de Software I, Tema 3: Modelos de proceso. 06/12/2019, de Departamento de Informática y Automática Universidad de Salamanca Sitio web: https://repositorio.grial.eu/bitstream/grial/1142/1/IS_I%20Tema%203%20-%20Modelos%20de%20Proceso.pdf
- Ibarra Lúzar JL., Pérez Zorrilla E. & Fernández García C. (noviembre 2005).** Electromiografía clínica. Servicio de Rehabilitación. Fundación Jiménez Díaz. Madrid., Vol. 39. Núm. 6., Páginas 265-276.
- Hernández Hermoso J. A. & Monllau García J. C. (2012).** Lesiones ligamentosas de la rodilla. Recuperado Diciembre 8 2019, de Marge Médica Books - València Sitio web: <http://equilae.com/wp-content/uploads/2016/03/lesiones-ligamentosas-rodilla.pdf>
- Hernández Martín A. D., Puerto Noda I., Falcón Hernández A. (2014).** Utilidad de la medición de la densidad mineral ósea en pacientes reumáticos, Diciembre 2018, de Revista Cubana de Reumatología. Sitio web: <http://scielo.sld.cu/pdf/rcur/v16n2/rcur06214.pdf>
- Humeres Apra P. (2002).** Medicina nuclear: aplicación en patología osteoarticular. Revista chilena de radiología, v8. no.2, Páginas: 6.

- Lang A. (Junio 21 2017).** Myoware muscle sensor circuits from Sparkfun and others. Diciembre 8 2019, de Langster Blogspot Sitio web: <https://langster1980.blogspot.com/2017/06/myoware-muscle-sensor-circuits-from.html>
- Márquez Arabia J. J., Márquez Arabia W. H. (Ene-Jun 2014).** Artrosis y actividad física, Revista Cubana de Ortopedia y Traumatología, Vol.28 no.1, Páginas: 28. Octubre 2018, De Scielo Base de datos
- Moloney Johns, A. (2016).** Síndrome de Estrés Rótulo-Femoral [rodilla de corredor]. Agosto 2018, de University of Chicago Medicine Sitio web: <http://healthlibrary.uchospitals.edu/content/adult-diseases-and-conditions-v0/sand237ndrome-de-estrand233s-rand243tulo-femoral-rodilla-de-corredor/>
- Organización Mundial de la Salud. (16-02-2018).** Obesidad y sobrepeso. 30-07-2019, de Organización Mundial de la Salud Sitio web: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- Microsoft Store. (Septiembre 15 2016).** Arduino IDE. Diciembre 7 2019, de Microsoft Sitio web: <https://www.microsoft.com/es-mx/p/arduino-ide/9nblggh4rsd8?activetab=pivot:overviewtab#>
- Morales Piñeiro S., Lennox Warner D., Mata Cuevas R & Morera Estévez L. (ene.-mar. 2016).** Valor de la artroscopia de rodilla en el adulto mayor. Medicentro Electrónica, Vol. 20, No. 1., páginas: 11.
- Oyanedel, J. P. (2013, 25 febrero).** Thalmic Labs MYO: Un brazalete para controlar gadgets a través del movimiento. Recuperado 29 octubre, 2019, de <https://www.fayerwayer.com/2013/02/thalmic-labs-myo-un-brazalete-para-controlar-gadgets-a-traves-del-movimiento/>
- Queipo de Llano Giménez A., Queipo de Llano Aguado G., Serrano Arias J. M., Sánchez Caballero A. (2016).** Síndrome Patelofemoral, Tratamiento rehabilitador, Madrid, España: GRÜNENTHAL PHARMA S.A.
- RadiologyInfo.org. (2018).** Gammagrafía ósea (de hueso), Febrero 2018, de Radiological Society of North America, Inc. Sitio web: <https://www.radiologyinfo.org/sp/info.cfm?pg=bone-scan>
- Secretaría de Salud México. (29 de agosto de 2015).** ¿Qué es el Sedentarismo?, Enero 2018, de Gobierno de México Sitio web: <https://www.gob.mx/salud/es/articulos/que-es-sedentarismo>.
- Sparkfun. (2018).** MyoWare Muscle Sensor. Diciembre 6 2019, de SparkFun Electronics Sitio web: <https://www.sparkfun.com/products/13723>.
- Suárez Martín R., Martínez Larrarte J. P., Reyes Pineda Y., López Mantecón A. M. & Hernández Muñiz Y. (enero-abril 2016.).** Artrocentesis e inyecciones intra y periarticulares con corticoesteroides, Revista Cubana de Reumatología, Volumen 18, Número 1, Páginas 45-61. Enero 2018, De Scielo Base de datos.
- Tecmikro. (2019).** Placa Arduino Uno. Diciembre 7 2019, de TECmikro Ecuador Sitio web: <https://tecmikro.com/arduino/618-placa-arduino-uno.html>
- Umivale. Personal Sanitario Umivale. (2011).** *Patología de la Rodilla, Guía de Manejo Clínico*, Febrero 2019, de UMIVALE Sitio web: https://umivalesalud.files.wordpress.com/2011/09/guia_rodilla_2011.pdf
- Villa-Forte A. (diciembre 2017).** *Pruebas para el diagnóstico de trastornos musculoesqueléticos*. Diciembre 8 2019, de Merck Sharp & Dohme Corp., una subsidiaria de Merck & Co., Inc., Kenilworth, NJ., USA Sitio web: <https://www.msdmanuals.com/es-mx/hogar/trastornos-de-los-huesos,-articulaciones-y-m%C3%BAsculos/diagn%C3%B3stico-de-los-trastornos-musculoesquel%C3%A9ticos/pruebas-para-el-diagn%C3%B3stico-de-trastornos-musculoesquel%C3%A9ticos>

Villamizar Pinzón J., Padilla Mayorga R. & Cabrera Hurtado G. (diciembre 2012). Brazo robótico controlado por electromiografía. Universidad Tecnológica de Pereira, Vol. 2 No.52, Págs. 165-173.

Información de los autores.



Carlos Jonas Rosas Pérez, estudiante de la carrera de Ingeniería en Ciencias de la Computación de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Actualmente es integrante del laboratorio de Cómputo Forense, realizó su servicio social en este laboratorio. En el presente año participó con exposición de carteles y conferencias en los congresos: X Congreso Nacional de Tecnología Aplicada a Ciencias de la Salud (CONTACTS).



Luis Enrique Colmenares Guillén, realizó sus estudios de la Licenciatura en Computación en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). La Maestría en la Universidad de las Américas Puebla. El doctorado fue realizado en la Universidad Politécnica de Cataluña de Barcelona España. Actualmente es profesor investigador de la Facultad de Ciencias de la Computación de la BUAP. Perteneció a un cuerpo académico PRODEP consolidado, el cual es su representante. Es miembro del Registro CONACYT de Evaluadores Acreditados (RCEA). Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y a dos redes temáticas CONACYT. Perteneció al padrón de Investigadores y de Consultores de la BUAP. Actualmente tiene publicaciones nacionales e Internacionales, además tiene cuatro patentes registradas y dos títulos de patente. En la Facultad de Ciencias de la Computación ha impartido las cátedras de Sistemas Operativos, Administración de proyectos, Sistemas Distribuidos, Procesamiento Digital de imágenes, Sistemas de tiempo real. Actualmente ha desarrollado algoritmos y sistemas clasificadores para el área de la Inteligencia artificial y reconocimiento de patrones.



Elsa Chavira Martínez, Licenciatura en Física, BUAP (1978), Maestría en Ciencias en Física del Estado Sólido en el Instituto de Física, BUAP (1982), Doctorado en Ingeniería Biomédica, UAPEP (2012), Posgrado de Excelencia PNP, CONACYT. Como científica e investigadora ha trabajado en: Física de Superficies, Materiales Semiconductores, es especialista en el crecimiento de Silicio monocristalino por la técnica Czochralski, en el campo de la Microelectrónica, ha diseñado diversos Circuitos Integrados de Aplicación Específica, (Application Specific Integrated Circuits, ASIC's), entre los que destacan: el Microprocesador de 8 bits BRAMEX-1 (Brasil- México) y el diseño y desarrollo de la Unidad Lógica Aritmética del ILA9200. Ha desarrollado, diseñado y fabricado celdas fotovoltaicas de alta eficiencia con calidad espacial, para el satélite experimental mexicano en comunicaciones SATEX.1, además de desarrollar, diseñar y construir el COMPA, que es un Circuito Integrado protegido contra radiación cósmica, para suministrar la demanda de los voltajes y corriente del subsistema de potencia del SATEX.1. En Ingeniería

Biomédica diseñó, desarrolló y construyó de Sistemas Micro Electro- Mecánicos Bio Químicos (BioMEMS), también conocido como un Micro Laboratorio, Lab-on-a-Chip. Ha publicado más de cien artículos científicos y divulgación científica. Ha obtenido dos premios por parte de la Academia Mexicana de Cirugía del Aparato Digestivo, AMCAD. Actualmente está adscrita a la Facultad de Ciencias de la Computación (FCC) en la BUAP, como Profesora-Investigadora Titular A Tiempo Completo.



José Luis Hernández Ameca. Obtuvo el título de Ingeniero Electrónico del Instituto Tecnológico de Puebla en 2001. En 2005 recibió el título de Maestro en Ciencias de la Computación por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). En 2017 obtuvo el título de Doctor en Planificación Estratégica y Gestión de la Tecnología de la Universidad Popular Autónoma de Puebla (UPAEP). De 2002 a 2004 trabajó como Ingeniero en el departamento de implementación de proyectos de la empresa digital IUSACEL. Trabaja como Profesor en la facultad de Ciencias de Computación de la BUAP desde 2007, donde su línea de investigación es la robótica y aprendizaje.