

Prototipo de medición cuantitativa del dolor somático crónico en zona lumbar basado en la implementación de una red neuronal artificial

E. Vera^{1*}, P. M. Guillén¹, G. Díaz², J. Vázquez³

¹ Alumno de Ingeniería Biomédica, Universidad Politécnica de Chiapas, Suchiapa, Chis., México

² Pasante de Ingeniería Biomédica, Universidad Politécnica de Chiapas, Suchiapa, Chis., México

³ Departamento de Ingeniería Biomédica, Universidad Politécnica de Chiapas, Suchiapa, Chis., México

* evera153@ib.upchiapas.edu.mx

Resumen— En este trabajo se presenta un prototipo de medición cuantitativa del dolor para personas con cuadro somático crónico en la zona lumbar mediante la adquisición con dos sensores (*MAX30105* y *Myoware*) de parámetros fisiológicos tales como: frecuencia cardíaca, saturación parcial de oxígeno, temperatura y la actividad eléctrica muscular de la región. En el prototipo se ha desarrollado una interfaz en *Qt* que permite la visualización de los valores de los parámetros mencionados, una versión modificada y digital del Cuestionario Breve del Dolor para registrar el dolor del paciente. La combinación inicial de estas informaciones entrena una Red Neuronal Artificial (RNA) y así se obtiene un índice estimado del dolor representado como porcentaje para cada paciente. Posteriormente, el prototipo puede reutilizarse para monitorear los parámetros fisiológicos del mismo paciente y la RNA anticipa los valores porcentuales del índice estimado del dolor, el cual se calcula con ayuda de una Red Neuronal Artificial (RNA). En este trabajo se presentan los datos recolectados con el prototipo en 10 sujetos y los porcentajes de salida se aproximan a los valores indicados posteriormente por los sujetos en los cuestionarios correspondientes. Los resultados arrojados por la RNA muestran una aparente relación entre las variables fisiológicas y el dolor manifestado por el paciente en un cuestionario, así como las ventajas principales de calcular un índice estimado del dolor de forma anticipada y de manera directa usando nuestra RNA.

Palabras clave—Cuestionario breve del dolor, Dolor, Parámetros fisiológicos, Red Neuronal Artificial.

I. INTRODUCCIÓN

Melzack y Casey sugieren que el dolor crónico tiene tres dimensiones: discriminatorio-sensorial, afectivo-emocional y evaluativo-cognitivo [1]. La medición del dolor se realiza mediante tres tipos de cuestionarios: McGill, CBD, y el de incapacidad de Oswestry; facilitando así, que el paciente pueda autoevaluarse de manera multidimensional. La desventaja de estos cuestionarios es que no se pueden aplicar para todos los tipos de dolores. Algunas preguntas no son aplicables a todos los dolores debido a que estos no tienen una localización específica, como en el caso de dolores neuropáticos, donde se pierden datos importantes de la dimensión discriminatorio-sensorial [1].

La ansiedad y la depresión son aspectos que se involucran en la dimensión afectivo-emocional, porque

umentan el riesgo de convertir un dolor agudo a uno crónico, alterando la efectividad de un tratamiento y comprometiendo la objetividad de la evaluación [1].

En la dimensión evaluativa-cognitiva, “*catastrophizing*” es una percepción negativa y exagerada del dolor que conlleva: al desarrollo de enfermedades crónicas, dolores agudos postoperatorios severos y al aumento prolongado de asistencia médica [1].

La existencia de múltiples escalas puede generar una discrepancia entre distintos médicos que se encuentren tratando a un mismo paciente [1].

A nivel mundial se estima que el 27% de la población sufre de dolor crónico. Por lo que, en la actualidad, el dolor crónico se cataloga como un problema de salud pública [2] y la espalda es la región anatómica más afectada por enfermos con este tipo de dolor (alrededor del 12% durante el 2003) [2]. En México, la lumbalgia es muy frecuente, siendo la segunda causa de consulta en ortopedia, quinta de hospitalización, y tercera de intervenciones quirúrgicas; afectando en algún momento de su vida al 84% de las personas. La lumbalgia crónica cuenta con una prevalencia del 15% al 36%, con probabilidad de incrementarse en 10% por los casos de lumbalgia aguda [3].

En este proyecto, proponemos implementar un prototipo híbrido, combinando un sistema electrónico y una etapa psicométrica, que permite medir de manera objetiva el dolor somático crónico en la zona lumbar de un paciente. Las mediciones electrónicas se realizan con ayuda de las variables fisiológicas siguientes: frecuencia cardíaca, saturación parcial de oxígeno, temperatura y actividad eléctrica muscular. Debido a que se trata de un dolor crónico, se elaboró un cuestionario que ayuda a generar una escala de valoración para el paciente. De esta forma, a fin de que los profesionales de la salud puedan evaluar el progreso en el tratamiento de este tipo de lesiones, ambos bloques se conectan a las entradas de un modelo preentrenado de red neuronal y que predecirá los valores registrados en los cuestionarios de manera subsecuente por el paciente.

II. METODOLOGÍA

Los diagramas de bloques del prototipo implementado se describen a continuación.

A. Circuitos electrónicos

Para la obtención de los cuatro parámetros fisiológicos que son objeto de estudio del proyecto se utilizan dos sensores. Para la medición de la frecuencia cardíaca (HB), saturación parcial de oxígeno (SPO2) y temperatura (TEMP) se emplea el sensor MAX30105, el cual es colocado en un dedo, como se ve en la Fig. 1a. Este sensor trabaja con un nivel de voltaje de 5V y tiene una tasa de muestreo de máxima de 3.2 kHz. Para medir, registrar y amplificar la actividad eléctrica muscular a nivel lumbar se implementó un electromiógrafo (EMG) de 3 electrodos (colocándolos a las distancias indicadas en la Fig. 1b) usando el sensor Myoware alimentado a 5V.

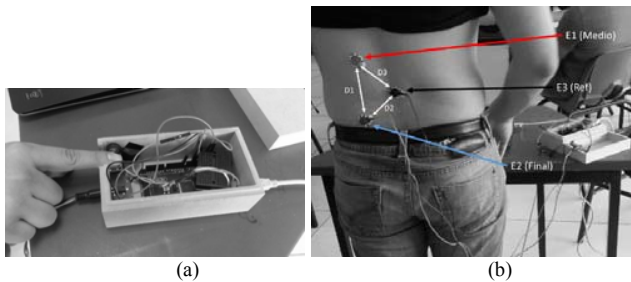


Fig. 1. Ubicación (a) del dedo para medición de ritmo cardíaco con el sensor MAX30105 conectado a Arduino Mega y (b) de los tres electrodos del EMG utilizados con sensor Myoware.

B. Interfaz gráfica y la respuesta al dolor

La interfaz fue diseñada en el programa Qt, con un entorno amigable y de fácil navegación para el usuario del prototipo. De esta forma, con nuestra herramienta, el usuario puede agregar los datos personales del sujeto de pruebas (*i.e.* nombre completo, edad, sexo, estado/condición). Dichos datos serán almacenados en una base de datos dentro del mismo programa haciendo uso de SQLite. En la ventana principal de nuestra interfaz también se muestra la conexión entre el Arduino y Qt (Fig. 2), así como la visualización de los valores que se obtuvieron a través de los sensores y, posteriormente a las pruebas, el porcentaje estimado del dolor calculado por nuestro prototipo.

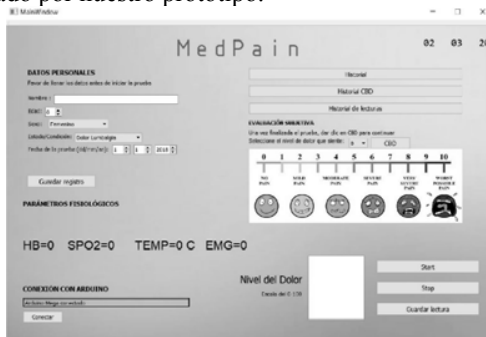


Fig. 2. Ventana principal de la interfaz diseñada en Qt mostrando los elementos que la integran.

Con la finalidad de registrar variaciones con los sensores en los parámetros seleccionados, se definieron 3 posiciones frecuentes en actividades diarias: sentado (P1), de pie (P2) e inclinado hacia adelante (P3).

Para medir la respuesta al dolor, la interfaz cuenta con un Cuestionario Breve del Dolor (CBD), tal como se muestra en la Fig. 3, el cual debe llenarlo el paciente después de la recolección de señales. Las respuestas al CBD se comparan posteriormente para determinar el margen de error resultante.



Fig. 3. Cuestionario breve del dolor (CBD) implementado en la interfaz.

C. Red neuronal artificial para escala del dolor

Para obtener un índice general de dolor se ha implementado una Red Neuronal Artificial (RNA) usando un esquema como el que se observa en la Fig. 4.

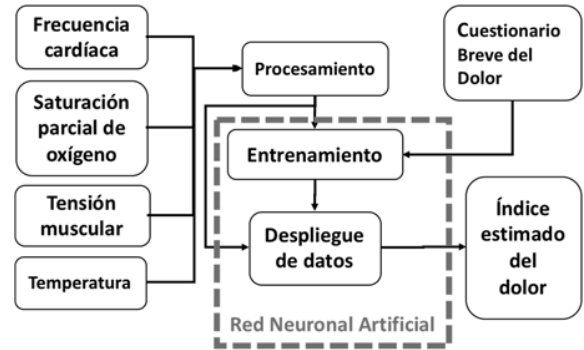


Fig. 4. Diagrama de bloques funcional y la conexión de señales con la red neuronal artificial implementada.

Se emplea el método *backpropagation* [4], con una tasa de aprendizaje de 10×10^{-5} y un gradiente igual a 0.9, usando la función sigmoide σ , definida en (1), con 10 nodos para la capa oculta y 4 para la de salida (Fig. 5).

$$\sigma(a) = \frac{1}{1 + e^{-a}} \quad (1)$$

donde a es la suma de las multiplicaciones entre los valores de salida de la capa anterior y los pesos de la capa actual. Los pesos w_{ij} se actualizan usando el método de descenso de gradiente de acuerdo a (2) [5, 6].

$$w_{ij}(k + 1) = w_{ij}(k) + \Delta w_{ij}(k) \quad (2)$$

siendo $w_{ij}(k)$ el peso de la capa actual y $\Delta w_{ij}(k)$ el resultado de la diferencia entre el peso actual y el anterior.

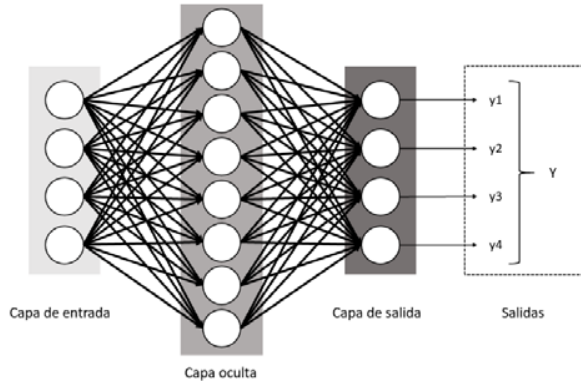


Fig. 5. Arquitectura de la red neuronal artificial.

Los datos obtenidos de los 2 sensores y las respuestas del CBD se introducen en la RNA para su entrenamiento y obtener los pesos ocultos, así como los valores de salida (expresado en porcentajes) de la estimación del dolor.

III. RESULTADOS

A cada sujeto se le explicó como ubicar el dedo en el sensor MAX30105 y se le colocaron los electrodos en la espalda a las distancias indicadas. Los valores de los parámetros fisiológicos de los sensores se recolectaron con un grupo de 10 personas (S1 a S10) de 20-30 años (cuatro de los cuales corresponden al sexo femenino y seis al masculino), dos de ellas sufren escoliosis (S3 y S5). El sujeto S5 sigue un tratamiento farmacológico para tratar el dolor, a diferencia de S3. En la Fig. 6 se ilustra las pruebas realizadas con tres

sujetos en las posiciones indicadas en la sección B y estas posiciones se mantuvieron por 3 minutos para cambiarse secuencialmente en el orden indicado. De esta manera se recolectaron cinco lecturas por parámetro en cada posición para cada sujeto, mismas que se promedian y se muestran en la Tabla 1. Los valores de la Tabla 1 se grafican en la Fig. 7. Para entrenar la red neuronal se calculan las medias aritméticas (\bar{x}) de los valores recolectados en cada señal mismos que se indican en la misma tabla y se compararon los puntajes Z correspondientes.



Fig. 6. Imágenes de las pruebas realizadas con el prototipo. En la figura se muestran 3 sujetos (S2, S6, S7) realizando 3 posiciones (P1, P2, P3) para registrar datos con los sensores.

La etapa de entrenamiento tomó alrededor de 5 a 10 segundos en realizarse en una computadora Intel Core i5-6200U a 2.3-2.8 GHz, dos núcleos, 6 Gb de RAM; y a partir del cual se obtuvieron los valores del índice general del dolor que se indican como porcentajes en la columna derecha de la Tabla 1. Los pesos ocultos se guardan en una matriz de 5x10 y los pesos de salida en una matriz de 11x4.

Tabla 1. Resultados de parámetros fisiológicos medidos por posición (3 primeras columnas) y la tabla de la derecha indica los resultados de la salida de la red de acuerdo a los datos provenientes del CBD y de los sensores de la red neuronal artificial. Las unidades correspondientes de HB, SPO2, TEMP y EMG son ppm, %, °C y mV, respectivamente.

SUJETO	SENTADO				DE PIE				INCLINADO				COMPARATIVO RESULTANTE	
	HB	SPO2	TEMP	EMG	HB	SPO2	TEMP	EMG	HB	SPO2	TEMP	EMG	CBD	SENSORES
1	80	90	32.5	356	61	99	33.5	253	66	95	33.9	429	10%	20%
2	107	86	30.4	188	83	86	30.3	44	62	65	29.5	77	10%	10%
3	58	96	34.7	199	51	96	34.8	346	82	95	35.0	260	30%	30%
4	93	78	32.9	235	125	92	32.5	282	150	88	34.1	507	10%	10%
5	87	96	32.0	74	80	98	33.5	82	72	100	33.9	218	10%	10%
6	73	99	33.7	156	67	97	29.4	332	88	99	34.1	198	20%	20%
7	55	98	35.3	783	79	99	33.8	204	47	93	34.9	135	20%	20%
8	48	99	34.5	370	58	93	34.4	661	70	96	36.1	514	10%	10%
9	53	94	35.4	343	92	93	31.9	326	77	99	35.1	332	20%	20%
10	76	85	33.6	197	67	91	30.8	410	80	99	31.6	442	10%	10%
\bar{x}	73.0	92.1	33.5	290.1	76.3	94.4	32.5	294.0	79.4	92.9	33.8	311.2		

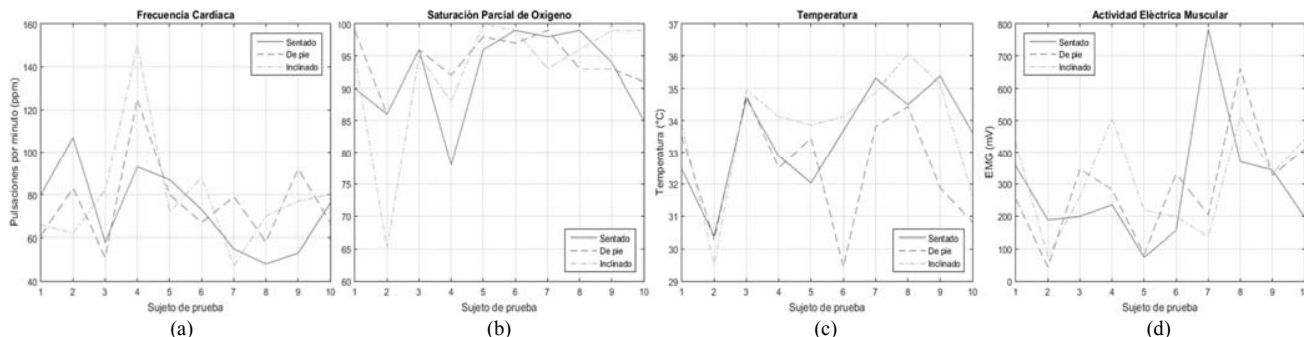


Fig. 7. Resultados de mediciones de parámetros fisiológicos: (a) Frecuencia Cardíaca, (b) Saturación Parcial de Oxígeno, (c) Temperatura y (d) Actividad Eléctrica Muscular.

IV. DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados mostrados en la Fig. 7, se visualiza que los parámetros fisiológicos que mejor respondieron a los cambios de posición fueron la frecuencia cardíaca y la actividad eléctrica muscular. De esto se deduce la importancia que realiza la RNA para el cálculo estimado del dolor. Por el contrario, la saturación parcial de oxígeno y la temperatura no presentaron grandes cambios, manteniéndose constantes en la mayoría de los sujetos. La similitud de los resultados de la RNA respecto a los valores dados por los sujetos de prueba en las CBD fue de 9 de 10 casos; el único que no presentó esta concordancia fue el S1. La RNA clasificó con una ponderación más alta que en el porcentaje generado por el CBD, debido a que los atributos con los que se introdujeron inicialmente presentaron variaciones parecidas a los casos S6, S7 y S9. Las condiciones de vida del sujeto involucran un desgaste físico de manera continua, por lo que los sensores registraron lecturas que la RNA interpretó como un dolor del 20% de la escala total propuesta. Los sujetos que sufren de una enfermedad crónica, tal como la escoliosis, fueron correctamente clasificados en el dolor que presentan día a día, como se reflejó en el CBD correspondiente. La RNA actuó de manera eficiente al clasificar los demás sujetos y con base en los valores de los sensores.

V. CONCLUSIÓN

Con base a los experimentos realizados se puede concluir que la frecuencia cardíaca y la actividad eléctrica muscular fueron los parámetros que mayor variabilidad presentaron en cada una de las posiciones a las que fueron expuestas los sujetos de prueba, los cuales permitieron generar una estimación cuantitativa del nivel de dolor percibido por la persona. Adicionalmente, con la finalidad de aumentar el nivel de precisión de nuestro prototipo se buscará la incorporación de otros sensores que faciliten la detección de dolor en las personas. Así también se realizarán más pruebas

con sujetos que presenten niveles mayores de dolor a los presentados en este trabajo.

RECONOCIMIENTOS

Los autores E.V. y P.G. agradecen al Dr. Alfonso Estudillo Romero por darnos las bases de redes neuronales en las cuales se fundamentó este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] T. Bendinger and N Plunkett, Measurement in pain medicine. *BJA Education*. 16(9):310-315, 2016. DOI: 10.1093/bjead/mkw014.
- [2] Covarrubias-Gómez A. Lumbalgia: Un problema de salud pública. *Rev. Mex. Anest.* 33(1):106-109, 2010.
- [3] Soto-Padilla M, Espinosa-Mendoza RL, Sandoval-García JP, Gómez-García F. Frecuencia de lumbalgia y su tratamiento en un hospital privado de la Ciudad de México. *Acta Ortop. Mex.* 29(1):40-45, 2015.
- [4] Fei-Fei Li & Andrej Karpathy & Justin Johnson. Lecture 4: Backpropagation and Neural Network part 1. Stanford; 2016
- [5] Arredondo-Vidal T. Introducción a las Redes Neuronales. Depto. Electrónica UTFSM; 2012.
- [6] K. Swingler. Lecture 3: Delta Rule, University of Stirling; 2012.