

**Dispositivo indicador de carga de peso y actividad muscular para pacientes en recuperación post ACV****Indicator device for weight loading and muscle activity for patients in recovery post ACV**

Recebimento dos originais: 10/02/2019

Aceitação para publicação: 13/03/2019

**Diego Hernán Esquivel**

Integrante del Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática

Instituição: Universidad Abierta Interamericana

Endereço: Ovidio Lagos 944, Rosario - Santa Fe – Argentina

E-mail: diegoh.esquivel@gmail.com

**Juan Pablo Martínez**

Integrante del Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática

Instituição: Universidad Abierta Interamericana

Endereço: Ovidio Lagos 944, Rosario - Santa Fe – Argentina

E-mail: martinezjuanpablo966@gmail.com

**Mauricio Miloqui**

Integrante del Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática

Instituição: Universidad Abierta Interamericana

Endereço: Ovidio Lagos 944, Rosario - Santa Fe – Argentina

E-mail: mauricio@miloqui.com

**Alejandro Sartorio**

Director del Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática

Instituição: Universidad Abierta Interamericana

Endereço: Ovidio Lagos 944, Rosario - Santa Fe – Argentina

E-mail: alejandro.sartorio@uai.edu.ar

**Pedro Lopez**

Director del laboratorio de Robótica del Centro de Alto Estudios en Tecnología Informática

Instituição: Universidad Abierta Interamericana

Endereço: Ovidio Lagos 944, Rosario - Santa Fe – Argentina

E-mail: pedro.lopez@uai.edu.ar

**ABSTRACT**

Es un dispositivo basado en la tecnología Arduino, que asiste a profesionales de la salud en la rehabilitación de pacientes que han sufrido un Accidente Cerebro Vascular (ACV), padeciendo déficit sensitivo-motor en alguna de sus extremidades inferiores. El dispositivo recolecta la información necesaria para exponer la correcta distribución de la carga en cada miembro inferior y el nivel de actividad muscular (en tiempo real) de la zona sobre la cual se está trabajando. Es una herramienta de bajo costo que tiene como objetivo optimizar el proceso de rehabilitación en las etapas de sedestación y bipedestación; que podría reducir los

tiempos de recuperación, evitar posturas viciosas, obtener estadísticas de control y evolución del paciente.

**KeyWord:** Arduino, Rehabilitación, ACV, Actividad Muscular, Bajo Costo, Salud, Social, E-health.

## RESUMO

É um dispositivo baseado na tecnologia Arduino, que auxilia profissionais de saúde na reabilitação de pacientes que sofreram Acidente Vascular Encefálico (AVC), sofrendo de déficit motor-sensorial em alguns membros inferiores. O dispositivo coleta as informações necessárias para expor a distribuição correta da carga em cada membro inferior e o nível de atividade muscular (em tempo real) da área em que se está trabalhando. É uma ferramenta de baixo custo que visa otimizar o processo de reabilitação nas fases sentada e em pé; que poderia reduzir os tempos de recuperação, evitar posturas viciosas, obter estatísticas de controle e evolução do paciente.

**Palavras-Chave:** Arduino, Reabilitação, ACV, Atividade Muscular, Baixo Custo, Saúde, Social, E-health.

## 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 ¿QUÉ ES EL ACV?

Un accidente cerebrovascular es un evento crítico causado por la interrupción súbita del flujo sanguíneo en un área del cerebro, secundario a la rotura de un vaso sanguíneo o la obstrucción del mismo por un coágulo. La ausencia del aporte de oxígeno y nutrientes por un tiempo determinado causa daños irreversibles en el parénquima cerebral. El ACV es una emergencia médica. Es fundamental el diagnóstico y tratamiento inmediato. La acción temprana puede reducir al mínimo el daño cerebral y la posibilidad de complicaciones. El síntoma más común del accidente cerebrovascular es la pérdida súbita, generalmente unilateral, de fuerza muscular y/o sensibilidad en el brazo, pierna o cara.[1].

### 1.2 ¿QUÉ ES ARDUINO?

Arduino [2] es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fácil de usar. Las placas Arduino pueden leer entradas (luz en un sensor, un dedo en un botón o un mensaje de Twitter) y convertirlo en una salida, activar un motor, encender un LED y publicar algo en línea. Puede decirle a la placa qué hacer enviando un conjunto de instrucciones al microcontrolador. Para hacerlo, utiliza el lenguaje de programación Arduino basado Wiring [3] y el software (IDE), basado en Processing [4]. Arduino nació en

“IvreaInteractionDesignInstitute” como una herramienta fácil para hacer prototipos rápidos, dirigido a estudiantes sin experiencia en electrónica y programación.

### 1.3 ¿POR QUÉ ELEGIR ARDUINO?

En la actualidad existen varios modelos de placas, de diferentes fabricantes que pueden utilizarse para la realización del proyecto. Arduino presenta una gran ventaja en costo/calidad, permitiendo desarrollar un dispositivo a bajo costo con muy buenas prestaciones. El software Arduino es fácil de usar para principiantes, y además lo suficientemente flexible para usuarios avanzados. Se ejecuta en Mac, Windows y Linux. Otro fundamento para su elección se basa en que es de alcance mundial, esto significa que existe en internet una gran cantidad de recursos en línea disponibles para utilizar. Además, tiene una gran comunidad de personas que lo utilizan, enriquecen la documentación y comparten continuamente sus ideas. Tanto el hardware como el software utilizado son libres, es decir que tanto las especificaciones de la electrónica necesaria como la de los programas necesarios para su utilización están accesibles y pueden utilizarse libremente.

### 1.4 ALCANCE DEL PROYECTO

El alcance del proyecto se basa en crear un prototipo orientado a la asistencia en el proceso de rehabilitación para tratar problemas relacionados con Parálisis o pérdida del movimiento muscular en las etapas de sedestación y bipedestación, a través de señales (visuales y/o sonoras), las cuales son fáciles de interpretar por los pacientes que presenten o no dificultades en su capacidad cognitiva y/o razonamiento.

## 2 ESTADO DEL ARTE

Una de las motivaciones que ha impulsado al desarrollo y estudio de este proyecto, es que no se ha encontrado tecnología de bajo costo aplicada para este tipo de tratamientos. El trabajo número 1, carece de la utilización de tecnología, todos los esfuerzos son realizados por los profesionales de la salud, quienes guían a los pacientes en base a su experiencia para que realicen los movimientos de manera correcta y evitar así posturas indebidas. El trabajo número 2, hace referencia al proceso de rehabilitación que se lleva a cabo en clínicas especializadas [5] dotadas con moderna tecnología y equipamiento de avanzada complejidad. El trabajo número 3, hace referencia a un proyecto [6] desarrollado por un grupo de investigación de la UBA (Universidad de Buenos Aires) donde se presenta un

dispositivo para la rehabilitación de la marcha en pacientes con ACV, de bajo costo y fácil utilización. A continuación (ver Tabla 1), se observan diferentes proyectos y dispositivos que son tomados como referencia y punto de partida para este trabajo.

Tabla 1. Tabla comparativa de trabajos similares

TRABAJOS										
Asistencia a través de un profesional.										
Asistencia a través de dispositivos de alta tecnología.										
Asistencia a través de dispositivos similares (UBA)										
Trabajo actual										

**C1:** Nuevas tecnologías. **C2:** Personalización. **C3:** Uso diario. **C4:** Uso rehabilitación.

**C5:** Portabilidad. **C6:** Sensores de precisión. **C7:** Simplicidad de uso. **C8:** Escalabilidad.

**C9:** Bajo costo.

La anterior comparación, deja en evidencia que podemos encontrar dispositivos o tecnología dedicada a la rehabilitación para pacientes post ACV, el gran crecimiento de casos por año ha marginado a un sector grande de la población argentina que no tiene acceso a los recursos económicos necesarios para poder tratarse. En respuesta a esta problemática hemos desarrollado este prototipo trabajando junto a profesionales de la salud, en el área de rehabilitación, con el objetivo de favorecer la inclusión social y brindar una herramienta de precisión que pueda potenciar sus conocimientos.

### 3 ANÁLISIS

El accidente cerebrovascular es una de las principales causas de mortalidad en el mundo [7]. La incapacidad producida por los accidentes cerebrovasculares es devastadora para el paciente y para su familia, pero se dispone de terapias que ayudan a rehabilitar a los pacientes que sufren un accidente cerebrovascular.

Para la mayoría de los pacientes, la terapia física es la piedra angular del proceso de rehabilitación. Un terapeuta físico utiliza el adiestramiento, los ejercicios y la manipulación del cuerpo con la intención de restaurar el movimiento, el equilibrio y la coordinación. El

objetivo de la terapia física es lograr que el paciente que ha sufrido un accidente cerebrovascular vuelva a aprender actividades motoras simples, tales como caminar, sentarse, ponerse de pie, acostarse, y el proceso de cambiar de un tipo de movimiento a otro.

El objetivo de este dispositivo de bajo costo orientado es que el profesional pueda ver reflejada la distribución de la carga de las extremidades inferiores del paciente, y el nivel de actividad de los músculos tratados. La carga ejercida en cada uno de los miembros y la activación muscular se sensan, permitiéndole al profesional guiar de forma correcta el nivel ejercido sobre cada una de ellas, ayudando a la correcta postura por medio de la utilización de indicadores visuales y actuadores sonoros. A su vez y en base a dicha distribución obtenida, el prototipo podrá determinar cuál es el patrón de pisada que posee actualmente el paciente, esta información adicional servirá no sólo para la instancia actual de rehabilitación, sino que será de suma utilidad a futuro, llegada la instancia de recuperación sensoriomotora.

Adicionalmente puede verse la información generada en dispositivos móviles y lograr persistir dicha información para la confección de informes para evaluación y seguimiento.

Si el dispositivo refleja desequilibrio con respecto a la distribución de la carga o no registra actividad muscular en la zona afectada, lo evidencia en tiempo real, posibilitando que el kinesiólogo pueda corregir de manera temprana, evitando así posturas viciosas irreversibles.

## **4 DESARROLLO**

### **4.1. COMPONENTES UTILIZADOS**

Para la construcción del prototipo fueron utilizados los siguientes componentes principales:

Placa electrónica ARDUINO MEGA R3

Sensor de fuerza circular

Sensor de fuerza cuadrado

Sensor de actividad muscular

### **4.2 ARDUINO MEGA R3 O COMPATIBLE**

Este proyecto, utiliza como cerebro del dispositivo una placa Arduino [8] modelo MEGA (ver Fig. 1) por su bajo costo, simplicidad y variedad de componentes disponibles en el mercado. Todos los componentes del proyecto se conectan a este dispositivo.

Principales características técnicas:

Microcontrolador: ATmega2560

Voltaje: 5V

Pines E/S digitales: 54 (14 proporcionan salida PWM)

Entradas Analógicas: 16

Flash Memory: 256 KB de las cuales 8 KB al bootloader

EEPROM: 4 KB

ClockSpeed: 16 MHz



Figura 1: Vista frontal de la Placa Arduino MEGA

#### 4.3 SENSOR DE FUERZA CIRCULAR.

El sensor de fuerza resistivo (FSR) [9] es un dispositivo de película de polímero que presenta una disminución de la resistencia que varía con la fuerza aplicada (a mayor fuerza, menor resistencia). Sin fuerza aplicada, su resistencia es mayor a  $1M\Omega$ , mientras que al aplicar la máxima presión la misma disminuye a  $2.5k\Omega$ .

Este tipo de sensor (ver Fig. 2) es utilizado en la plantilla de pie y su objetivo principal es de sensor áreas específicas para determinar patrones de pisada.

Características:

Longitud total: 44.5

Diámetro: 7.62mm

Diámetro área sensible: 4mm

Fuerza de actuación tan baja como 2 gramos

Amplio rango de fuerzas: 0.1N - 10N



Figura 2. Vista frontal del sensor de fuerza resistiva circular

#### 4.4 SENSOR DE FUERZA CUADRADO

El sensor (ver Fig. 3) presenta características [10] similares al anterior, ya que pertenecen a la misma familia de sensores FSR 400. Su aplicación en el proyecto es sensar la fuerza total aplicada por uno de los miembros inferiores, con el objetivo de lograr la correcta distribución de la carga de peso.

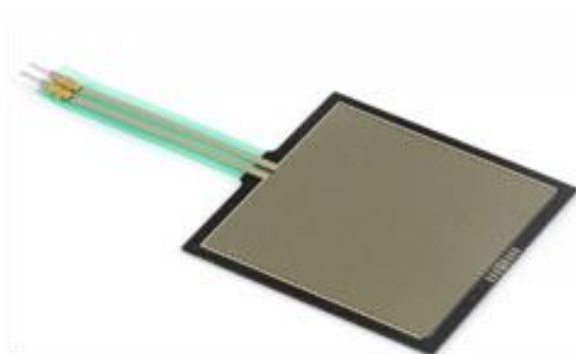
Características:

Longitud total: 89mm

Ancho: 44.5mm

Área sensible: 44.5 x 38mm

Rango de fuerza: 1N - 100N



cuadrado.

Figura 3. Vista frontal del sensor de fuerza resistiva

#### 4.5 SENSOR MUSCULAR

El sensor “Muscle Sensor v3” [11], mide la actividad de un músculo al monitorear el potencial eléctrico generado por las células musculares. Esto se conoce como electromiografía [12] (EMG). El sensor amplifica y procesa la compleja actividad eléctrica

de un músculo y lo convierte en una señal analógica simple que puede ser leída fácilmente por Arduino. A medida que el grupo muscular objetivo se flexiona, el voltaje de salida del sensor aumenta. La relación exacta entre el voltaje de salida y la actividad muscular se puede ajustar con un potenciómetro de ganancia integrado (ver Fig. 4).

Este sensor nos permitirá analizar la actividad muscular y establecer umbrales de fatiga al momento de realizar esfuerzos físicos evitando mayores complicaciones. Además, de generar informes que podrán ser utilizados como punto de control y evolución.



Figura 4. Vista frontal del sensor muscular, cable de conexión y electrodos

#### 4.6 ESQUEMA DE CONEXIÓN

La figura debajo (ver Figura 5) muestra un diagrama de conexión simple, que permite entender la relación que existe entre todos los componentes antes mencionados. Vale destacar que el diagrama es simple, porque solo se representan las conexiones para una plantilla con el objetivo de optimizar el espacio de muestra y fácil entendimiento.

En el diagrama de representación podemos ver sobre la izquierda a la plantilla con sus sensores correspondientes, 4 sensores circulares que serán los encargados de detectar presión ejercida y calcular el patrón de pisada y debajo el sensor de fuerza cuadrado, que recolecta la carga de peso ejercida por ese miembro inferior, permitiendo evidenciarla correcta distribución de peso.

En la parte inferior, se encuentra el sensor de actividad muscular y sus respectivas conexiones de alimentación (2 baterías de 9v conectadas en paralelo) y datos a la placa Arduino MEGA. A su lado están los cables que se conectan a los electrodos y de ahí con un conector jack mini plug 3.5mm al sensor.



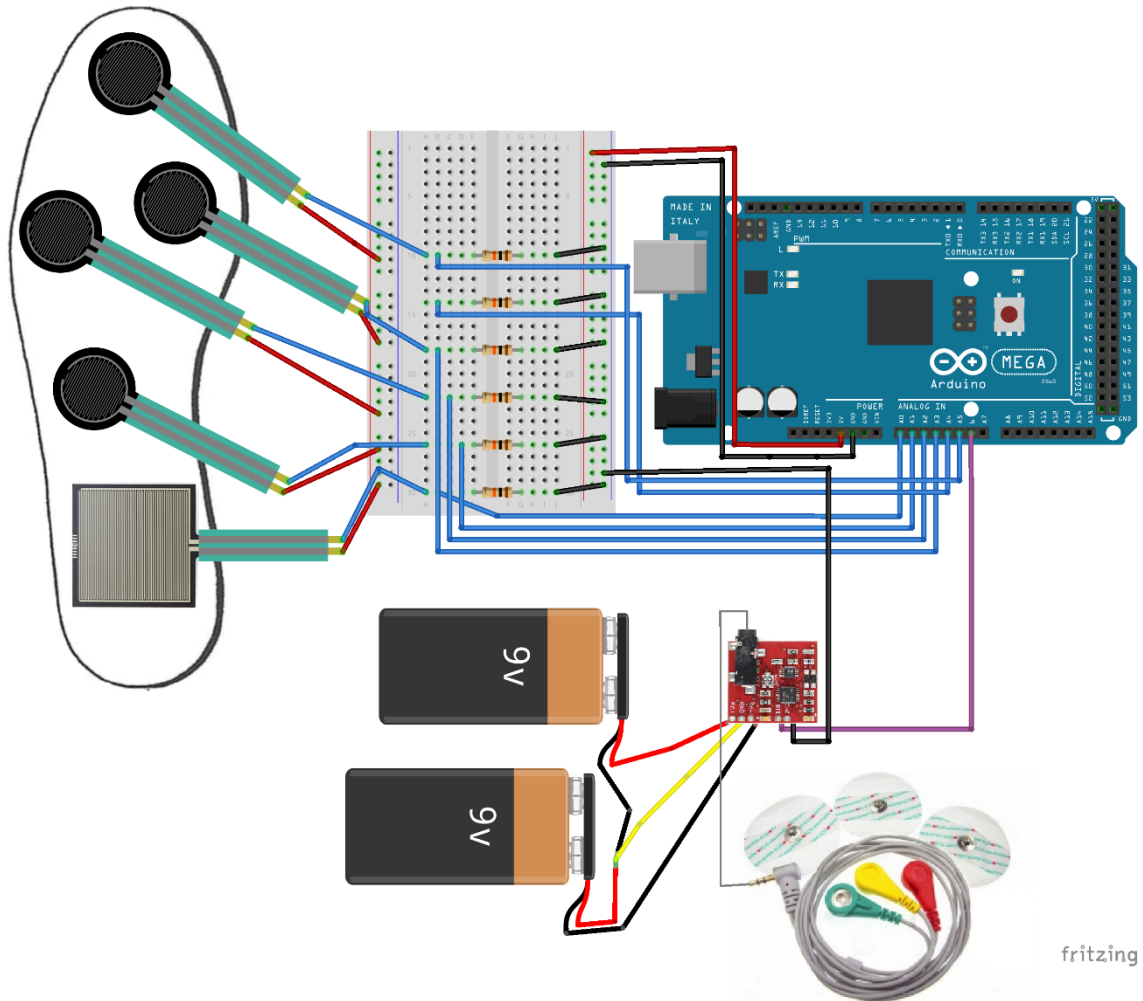


Figura 5. Esquema de conexión general

## 5 FUNCIONES DEL SISTEMA

### 5.1 CALCULO DE DISTRIBUCIÓN DE CARGA EN MIEMBROS INFERIORES PARA BIPEDESTACIÓN

El primer paso de esta etapa es lograr determinar el peso total del paciente, para lo cual el profesional deberá guiarse de manera tal que el mismo logre volcar la totalidad de su peso sobre el miembro que no esté afectado. De esta manera el sistema determinará cuál será la correcta distribución en cada miembro inferior, siendo este el 50% del valor censado. La suma de las cargas ejercidas por cada miembro inferior entonces, deberá ser igual al peso total del paciente.

## 5.2 DETENCIÓN DE LOS PATRONES DE PISADA

Para conceptualizar los principios y leyes que describen la dinámica del movimiento del cuerpo humano es necesario identificar los puntos de alta presión, mientras nos encontramos en bipedestación y cuando realizamos la marcha, la explicación de los movimientos que se generan en las diferentes partes del cuerpo se analizan mediante la acción de las fuerzas corporales en las superficies plantares.

Las presiones plantares[13] son la proyección de la carga corporal sobre la planta de los pies en bipedestación (estática) o durante la marcha (dinámica), existen dos formas para medir éstas, una cualitativa y otra cuantitativa, el presente proyecto de basará en el método cuantitativo, llevándolo a cabo por medio de una plataforma dotada de sensores de fuerza resistivos, los cuales logran identificar el tipo de pisada del paciente en tiempo real.

Cuando el paciente se encuentra en bipedestación o en posición estática lo que hacemos es analizar los puntos de máxima presión en el pie y su distribución en la superficie plantar (ver Figura 6). Finalmente, cuando obtenemos dicha información, podemos tener un diagnóstico temprano sobre su patrón de pisada, lo que se considera como información sumamente valiosa para detectar posibles alteraciones que pueden desencadenar daños en otras estructuras del cuerpo tales como la rodilla, columna vertebral, etc.

Es prioritario también conocer si tenemos alguna alteración al estar de pie, para poder plantear soluciones a través de tratamientos específicos, como calzado o plantillas, que tendrán como finalidad mejorar las condiciones biomecánicas[14] y así evitar posibles lesiones en nuestro cuerpo. La correcta evaluación de esta etapa es fundamental para poder diagnosticar y prevenir problemas que puedan a llegar agravarse en una etapa posterior.

## 5.3 PATRONES DE PISADA

**Pronador:** La mayoría de la población tiene este tipo de pisada. La pronación es cuando el pie se inclina hacia su parte interna en el momento del apoyo, al caminar o correr.

**Supinador:** Este tipo de pisada es lo contrario a la pronación, consiste en que el pie se inclina hacia su parte externa en el momento del apoyo. El porcentaje de personas que tienen este tipo de pisada es muy bajo, aproximadamente el 10% de la población.

**Neutro:** La pisada neutra consiste en que el pie no se inclina ni hacia dentro ni hacia fuera durante el apoyo. Cuando una persona tiene este tipo de pisada, el recorrido de su pie desde que apoya el talón hasta que despegla la punta del pie, se realiza como si trazara una línea recta.



Figura 6. Distribución de fuerza en la superficie plantar según el tipo de pisada

#### 5.4 INTERFAZ GRÁFICA DEL SISTEMA

En la figura 7 se observa una captura de pantalla que representa todas las funciones anteriormente mencionadas. En primera instancia se muestra el indicador de carga como “Total”, el cual expone en tiempo real cual es el estado de la distribución de la carga en uno de los miembros inferiores.

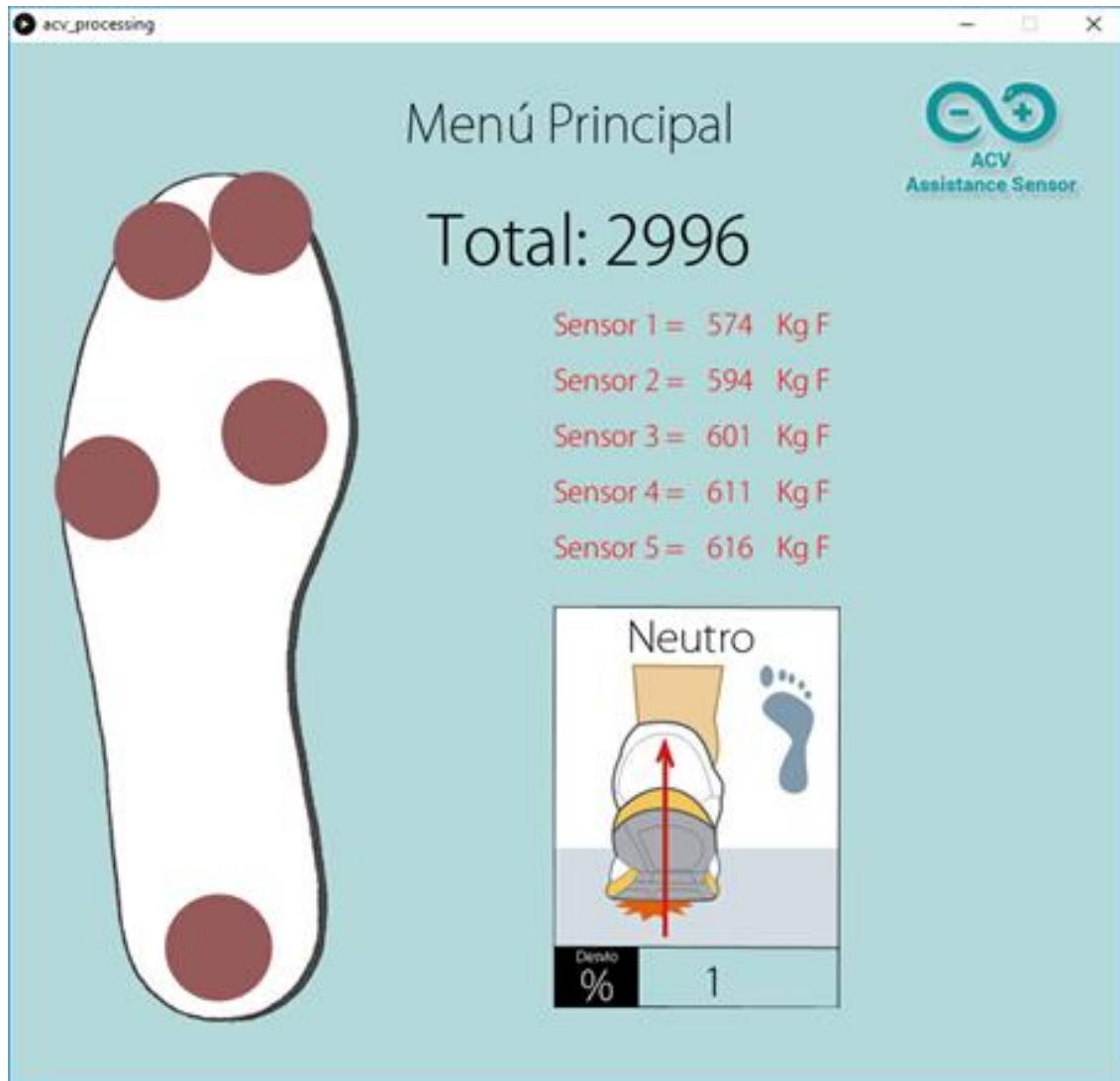


Figura 7. Pantalla de lectura de datos

Otra de las funciones representadas es la distribución de presión plantar, en donde se detalla el valor de cada sensor distribuido a lo largo de la planta del pie, los cuales son representados por círculos rojos que varían su tamaño dependiendo de la fuerza ejercida sobre cada punto. La información suministrada es importante para determinar el patrón de pisada.

## **6 CONCLUSIÓN**

El presente trabajo se ha desarrollado con un objetivo primordial, el cual se basa en lograr poner la tecnología al servicio de la salud, con lo que ello significa, más representativo se torna aun cuando tratamos con la principal causa de discapacidad en Argentina.

El prototipo desarrollado tiene la capacidad de captar datos cuantificables e inherentes para el profesional de la salud que se encuentra trabajando en las etapas de sedestación, bipedestación y marcha. Dichos datos son procesados y expuestos de manera tal que se convierten en información tan valiosa como significativa para la causa.

ACV Sensor Assistance por medio de sus sensores de fuerza resistiva, tiene la capacidad de reflejar la distribución de la carga en extremidades inferiores, determinar el tipo de pisada y a su vez llevar el control y registro de actividad de aquellos músculos que los profesionales consideren vitales para cada etapa de la recuperación. Es decir, el dispositivo ofrece datos de un gran nivel de exactitud, teniendo la capacidad de reflejarlos de modo preciso y certero evidenciando aquella información que puede no estar expuesta a los sentidos del profesional.

Esta herramienta es útil, no solo para evaluar a los pacientes en clínicas o consultorios sin la necesidad de más equipos, sino también, para que el mismo paciente compruebe su postura en su hogar, en el momento que el especialista así lo recomiende, posibilitando de esta manera extender las horas de recuperación y no quedar limitado a lo realizado en el centro de rehabilitación, esto es posible gracias a la portabilidad que presenta el dispositivo. Es de suma importancia destacar también entre sus ventajas más salientes, el bajo costo del dispositivo, su versatilidad y facilidad de uso.

Para finalizar no podemos dejar de destacar el objetivo que dio origen al presente proyecto, el cual se basa en lograr aportar todos los recursos y conocimientos que estén a nuestro alcance, para asistir a través de un medio tecnológico a profesionales de la salud, con el fin de lograr mejorar la calidad de vida de una persona, sin dudas el objetivo más noble y significativo que se le puede presentar a un profesional independientemente del ámbito al

que pertenezca, y si a ello le sumamos la posibilidad de que la herramienta desarrollada pueda atravesar todos los estratos sociales gracias a su bajo costo, significa que el objetivo principal está más que cumplido.

Los próximos pasos apuntan a convertir este prototipo en un equipo comercializable, para lo cual la electrónica del sistema se implementará sobre un PCB (printedcircuitboard) dentro de un muy pequeño gabinete. Los problemas a resolver incluyen la migración de la placa Arduino a un diseño específico, la elección del modelo de comunicación inalámbrica y una tecnología de batería recargable de peso mínimo.

### REFERENCIAS

- [1] World Stroke Organization. World Stroke Campaign. (2018) <http://www.worldstrokecampaign.org>
- [2] Arduino, (2018). “What is Arduino?”. <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- [3] Wiring, (2018). “Wiring is an open project initiated by Hernando Barragán” <http://wiring.org.co/>
- [4] Processing, (2018). initiated by Ben Fry and Casey Reas. <https://processing.org/>
- [5] Sagrada Familia. “Clínica de alta tecnología para ACV” <http://www.sagradafamilia.com.ar/tag/acv/>
- [6] Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires . (2018).“Rehabilitación de pacientes con ACV Proyecto UBA” <http://fi.uba.ar/es/node/2169>
- [7] Cuba. Centro Nacional de Información de Ciencias Médicas. Biblioteca Médica Nacional. Accidente Cerebrovascular. Estadísticas Mundiales. Factográfico salud [Internet]. 2017 Oct [citado 2/10/2018];3(12):[aprox. 13 p.]. Disponible en: <http://files.sld.cu/bmn/files/2017/12/factografico-de-salud-diciembre-2017.pdf>
- [8] Arduino.(2018).“ARDUINO MEGA 2560 REV3” <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>
- [9] FSR 400 Data Sheet. <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/2010-10-26-DataSheet-FSR400-Layout2.pdf>

- [10] FSR 406 Data Sheet, (2018) <https://www.trossenrobotics.com/productdocs/2010-10-26-datasheet-fsr406-layout2.pdf>
- [11] Muscle Sensor V3, (2018).  
<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/Muscle%20Sensor%20v3%20Users%20Manual.pdf>
- [12] MedlinePlus, (2018). “Electromiografia”  
<https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003929.htm>
- [13] Rehabilitación Presiones Plantares.  
[http://www.academia.edu/18197880/INFORME\\_DE\\_LABORATORIO\\_REHABILITACION\\_PRESIONES\\_PLANTARES](http://www.academia.edu/18197880/INFORME_DE_LABORATORIO_REHABILITACION_PRESIONES_PLANTARES)
- [14] Estudio Biomecánico de la Pisada. <http://palomasala.com/tipos-pisada-pronador-supinador-neutro/>