

PROTOTIPO DE LABORATORIO DE MARCHA DE BAJO COSTO, ANÁLISIS DE LA POSTURA Y EL MOVIMIENTO PARA DIAGNÓSTICO E INTERVENCIÓN TERAPÉUTICA.

F.A. Ferrari, J.O. Vera, F. Blasetti, M.C. Cordero, UIDET UNITEC FIUNLP,

J.A. Rapallini, J. Osio, UIDET CeTAD FIUNLP

corderomc@gmail.com

Resumen— El Laboratorio de Marcha consiste en un conjunto de herramientas que permiten tomar medidas y realizar un análisis cuantitativo de los patrones de movimiento, facilitando el diagnóstico, tratamiento, seguimiento e implementación de métodos de rehabilitación en patologías asociadas al sistema locomotor de un paciente. El prototipo que se describe consistió en un desarrollo en el que se utilizó tecnología de última generación bajo las siguientes especificaciones: bajo costo, arquitectura modular, replicable y escalable.

La estrategia para abordar el proyecto, realizado íntegramente en la UIDET UNITEC (Unidad para el mejoramiento de la calidad de la Educación en Ingeniería con orientación al uso de TIC) de la Facultad de Ingeniería, consistió en el diseño de un prototipo básico, fácilmente replicable, modular y escalable de acuerdo con posibles necesidades futuras que favorezcan la realización de las actividades médicas asociadas al mismo y con el fin de ir incrementando prestaciones a medida que se obtengan nuevos recursos para su financiamiento.

En APRILP, entidad solicitante del proyecto, los estudios y prácticas médicas son gratuitos, articulando sus actividades con los hospitales públicos de la provincia de Buenos Aires, quienes derivan pacientes en forma continua, por lo que contar con este equipamiento permitirá atender un amplio sector poblacional que no puede acceder a este beneficio.

Participaron del diseño y desarrollo del Laboratorio un gran número de profesionales que integran o colaboran con UNITEC, la mayoría de ellos en calidad ad honorem, además de un importante número de asesores médicos fisiatras, terapistas ocupacionales, kinesiólogos, neurólogos, etc. para definir todos los aspectos técnicos involucrados.

Palabras clave —*Laboratorio de marcha, biomecánica, análisis de la marcha, patologías motrices, instrumentación biomédica.*

1. Introducción

El Laboratorio de Marcha consiste en un conjunto de herramientas que permiten tomar medidas y realizar un análisis cuantitativo de los patrones de movimiento, facilitando el diagnóstico, tratamiento, seguimiento e implementación de métodos de rehabilitación en patologías asociadas al sistema locomotor de un paciente[1-5].

El proyecto que se describe consistió en el desarrollo de un prototipo de Laboratorio de Marcha para el análisis del movimiento utilizando tecnología de última generación bajo las siguientes especificaciones: bajo costo, arquitectura modular, replicable y escalable a solicitud de la Asociación Pro Rehabilitación Infantil La Plata (APRILP), a través de un Acuerdo de Cooperación entre esta entidad y la UIDET UNITEC de la Facultad de Ingeniería de la UNLP, firmado en el año 2013, dentro del marco filosófico de la Extensión Universitaria. APRILP es una Organización no gubernamental (ONG) dedicada a la rehabilitación de personas, niños y adultos, con enfermedades neurolomotoras que utilizará el Laboratorio para diagnóstico y tratamiento de pacientes sin obra social y derivados de hospitales públicos que, de otro modo, no tendrían acceso a esta práctica médica. Todos los tratamientos que prestan son gratuitos y se articulan actividades con distintos hospitales de la región, como el Hospital Interzonal General de Agudos Gral. San Martín y el Hospital Interzonal de Agudos Especializado en Pediatría Sor María Ludovica. Estas instituciones indican un tratamiento y luego derivan al paciente a APRILP, debido a que es un centro de referencia regional.

Las tareas para el desarrollo de dispositivos y software fueron realizadas en dependencias de la Facultad de Ingeniería de la UNLP, excepto parte de la adecuación edilicia en instalaciones de APRILP donde será instalado el prototipo para su uso, luego de su puesta en marcha, ajustes y calibraciones.

El laboratorio de marcha es un sistema de alta tecnología que registra el movimiento, las fuerzas y la actividad muscular en forma tridimensional y sincronizada con el tiempo durante la marcha del paciente. Cuenta con un sistema de video que permite captar imágenes de frente y de perfil, y realizar una observación y estudio a cámara lenta y de forma repetida. Conjuntamente, posee un sistema computarizado de la marcha que integra la información obtenida en la revisión clínica, la exploración física y el análisis visual con un análisis cuantitativo de la marcha.

El estudio de la marcha está indicado para niños o adultos con alteraciones complejas de la marcha debido a patologías como encefalopatía crónica no evolutiva (parálisis cerebral); espina bífida y mielomeningocele; secuelas de traumatismo de cráneo, infecciones o accidentes cerebrovasculares; enfermedades medulares y de nervios periféricos en general; discrepancia de miembros inferiores; deformidades torsionales de huesos y pie; personas que han sufrido amputaciones de miembros; malformaciones congénitas; otras patologías neurológicas y ortopédicas. También se lo utiliza en estudios biomecánicos para mejora de las actividades deportivas.

La información recolectada le permite al equipo de evaluación planificar correctamente los programas de rehabilitación funcional o recomendar objetivamente un plan de tratamiento quirúrgico de alta precisión orientado a minimizar los tiempos operatorios y de internación. También permite diseñar programas de rehabilitación postoperatoria y de patologías neurológicas, de gran efectividad respaldados en un seguimiento detallado de la evolución de cada caso.

El sistema desarrollado posee un sistema de captura de movimiento de 3 cámaras infrarrojas (escalable a 7 cámaras) con buena resolución espacial, para fijar la precisión en la reconstrucción del movimiento con errores razonables. Además, un piso sensitivo permite evaluar cada pisada del paciente durante su marcha [6]. Se sumó también un sistema de video de alta definición que permite monitorear todo el procedimiento desde diferentes ángulos. Incluye un sistema de registro de presiones plantares.

2. Materiales y métodos

La estrategia para abordar el proyecto, realizado en la UIDET UNITEC de la Facultad de Ingeniería, consistió en el diseño de un prototipo básico, fácilmente replicable, modular y escalable pensado en función de posibles necesidades futuras que favorezcan la realización de las actividades médicas asociadas al mismo y con el fin de ir incrementando prestaciones a medida que se obtengan nuevos recursos para su financiamiento.

El desarrollo de este equipamiento constituye un hecho altamente relevante puesto que en nuestro país sólo existe un Laboratorio de Marcha con fines diagnósticos y terapéuticos, equipo comercial de muy alto costo (U\$S 200.000), que se encuentra bajo el ámbito de la Fundación para la Lucha contra las Enfermedades Neurológicas de la Infancia (FLENI) en la localidad de Escobar, (<http://www.fleni.org.ar/especialidades/descripcion/laboratorio-de-marcha/38>).

El presente trabajo forma parte varios proyectos subsidiados desde 2014 a 2017 por la Universidad Nacional de La Plata (correspondientes a las áreas de Extensión Universitaria y de Investigación y Transferencia), de la Facultad de Ingeniería de la UNLP, de la Secretaría de Políticas Universitarias y del Programa Consejo de la Demanda de Actores Sociales (PROCODAS) del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCyT). Los mismos ascendieron a la suma de \$ 130.000 (aproximadamente U\$S 12.000), fondos con los cuales se afrontó la adquisición de los materiales empleados para la implementación del prototipo del Laboratorio, con las especificaciones acordadas con los profesionales fisiatras de APRILP para la primera etapa del prototipo. La tarea en Extensión Universitaria por parte de los profesionales y colaboradores involucrados se realiza a título no oneroso, por lo cual no se realizó en esta instancia un análisis de costos para utilizar el Laboratorio de Marcha como una innovación pasible de ser comercializada. También, con el fin de abaratar costos y llegar a un prototipo funcional para llegar a pacientes de bajos recursos y sin obra social se realizó un desarrollo basado en hardware y software libre.

En APRILP, entidad solicitante del proyecto, los estudios y prácticas médicas son gratuitos, articulando sus actividades con los hospitales públicos de la provincia de Buenos Aires, quienes derivan pacientes en forma continua, por lo que contar con este equipamiento permitirá atender un amplio sector poblacional que no puede acceder a este beneficio.

Participaron del diseño y desarrollo del Laboratorio un gran número de profesionales que integran o colaboran con UNITEC, la mayoría de ellos en calidad ad honorem, además de un importante número de asesores médicos fisiatras, terapeutas ocupacionales, kinesiólogos, neurólogos, etc. para definir todos los aspectos técnicos involucrados. Parte de los profesionales son docentes de la UNLP con cargos con dedicación simple, que realizan estas tareas dentro de la Extensión Universitaria.

La implementación del Proyecto del Laboratorio de marcha de bajo costo se dividió en los siguientes módulos, desarrollados en diferentes etapas:

- Pedígrafo (o baropodómetro digital) para digitalización de la pisada
- Sistema para digitalización de la marcha (análisis del movimiento)
- Adecuación edilicia del espacio asignado en APRILP para instalación del Laboratorio, donde serán atendidos los pacientes.
- Control de variables biomédicas en forma simultánea al análisis de la marcha.

2.1 Digitalización de la pisada

Consistió en el desarrollo de la instrumentación electrónica para relevamiento de huellas plantares en tiempo real.

Para el desarrollo de esta instrumentación, denominada Pedígrafo digital o baropodómetro digital, se tuvieron en cuenta las siguientes especificaciones:

- Relevamiento y Reconstrucción de la huella plantar en Tiempo Real.
- Superficie sensible suficientemente amplia
- Resolución espacial apropiada
- Comunicación con una computadora
- Alta velocidad de transferencia de datos
- Interfaz de fácil utilización
- Visualización de presiones en forma relativa
- Reproducción y Almacenamiento post relevamiento
- Utilización de materiales de alta disponibilidad en Argentina
- Bajo Costo
- Consideraciones de seguridad eléctrica basadas en las Normas de la serie IRAM 4220 y la Norma internacional sobre protección contra riesgos de choque eléctrico IEC 60601.

2.1.1 Elección de los sensores

Las especificaciones que son clave para el rendimiento del sensor de presión elegido incluyeron los siguientes parámetros: linealidad, histéresis, rango de presión, sensibilidad a la temperatura, resolución, Precisión vs. Exactitud y robustez.

Luego del estudio de las tecnologías disponibles en el mercado se optó por los sensores resistivos que respondían a los requisitos exigidos. La resistencia equivalente formada entre los electrodos y la goma conductiva depende total e intrínsecamente de la geometría empleada y es por este motivo que se ensayaron variantes en cuanto al material, al espesor y forma de la goma, así como también separación entre pistas y ancho de las pistas que conforman los electrodos. Los ensayos tuvieron lugar en el Laboratorio del Grupo de Ensayos Mecánicos Aplicados de la FIUNLP. Allí se ensayaron diferentes configuraciones geométricas: forma cuadrada o redondeada, tipo peine, de pistas angostas o anchas, de distribución centrada, etc. Se probaron las gomas conductivas marca AVIGOM en espesores de 1 mm y 3,5 mm y se estudiaron los resultados de los gráficos de resistencia y conductancia en función de la presión para la elección final.

Se decidió finalmente, utilizar la goma conductiva de AVIGOM, de 3.5mm de espesor, redonda y el electrodo de forma redondeada, distribución tipo peine y pista ancha, que respondía a los requerimientos de esta primera etapa del proyecto.

2.1.2 Método de medición

Para el desarrollo de los diferentes prototipos de prueba y final para relevamiento de la huella plantar en tiempo real se partió del siguiente diagrama en bloques del sistema de medición. El barrido se lleva a cabo por medio de una matriz de sensores para obtener la totalidad de la digitalización de la pisada.

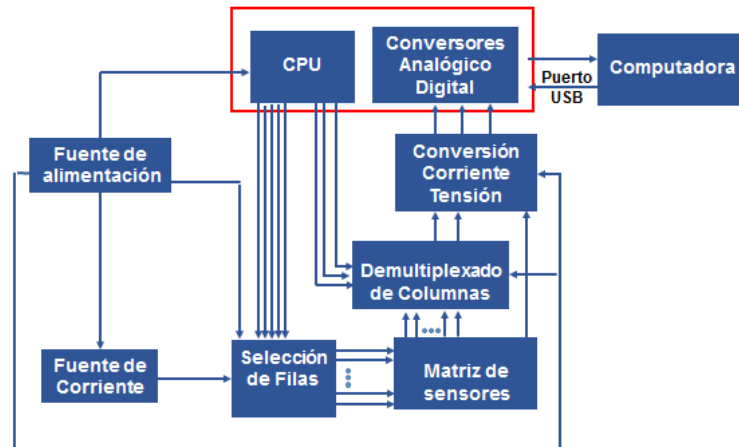


Figura 1. Diagrama en bloques
Fuente: elaboración propia

Se desarrollaron varios prototipos, previos al final, de modo de caracterizar tanto la matriz como el “peine” conductor donde se realiza el montaje de la goma conductiva (Figuras 2 y 3) hasta llegar al prototipo final de pie (Figura 4).



Figura 2. Prototipo de captura de “dedo”
Matriz de 3x4
Fuente: elaboración propia

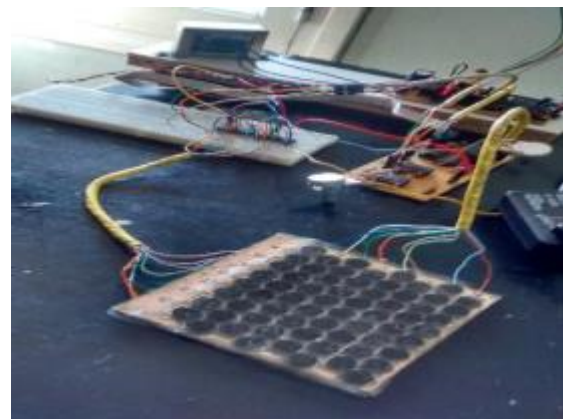


Figura 3. Prototipo de captura de “mano”
Matriz de 8x8
Fuente: elaboración propia

Laboratorio de marcha de bajo costo. Análisis de la postura y el movimiento para diagnóstico e intervención terapéutica.

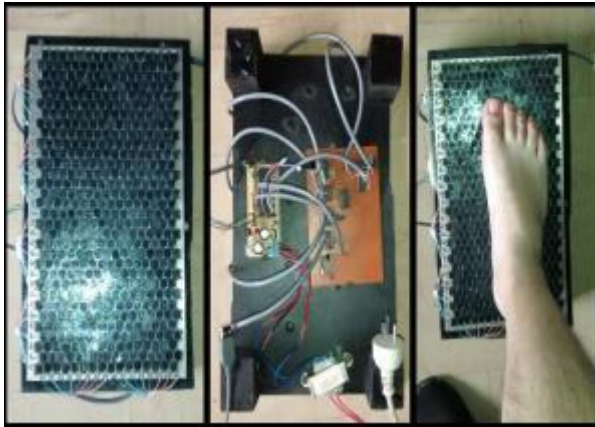


Figura 4. Prototipo final de captura de "pie talla 42"
Matriz de 16x32
Fuente: elaboración propia

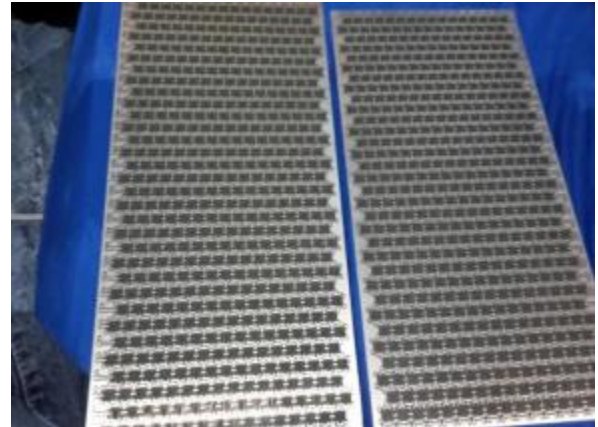


Figura 5. Placas definitivas replicación pedígrafo
Fuente: elaboración propia

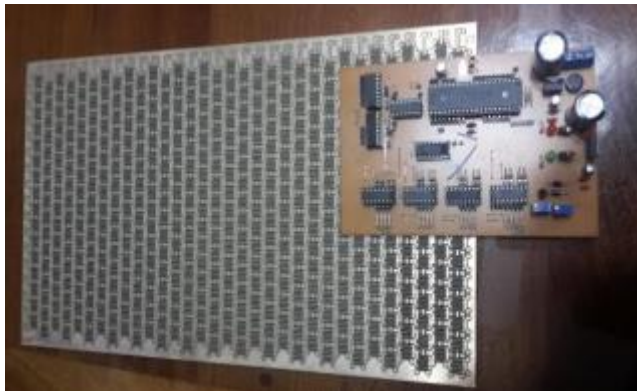


Figura 6. Placas definitivas replicación pedígrafo con
circuito controlador asociado
Fuente: elaboración propia



Figura 7. Circuito final segundo pedígrafo digital
Fuente: elaboración propia

Posteriormente se procedió al desarrollo e implementación de un segundo pedígrafo o baropodómetro y la adquisición de una tercera placa a modo de repuesto (Figuras 5, 6 y 7). Las placas fueron confeccionadas e impresas por la empresa EXCEMSO Circuitos Impresos S.R.L., a partir del diseño propio de los profesionales de UNITEC.

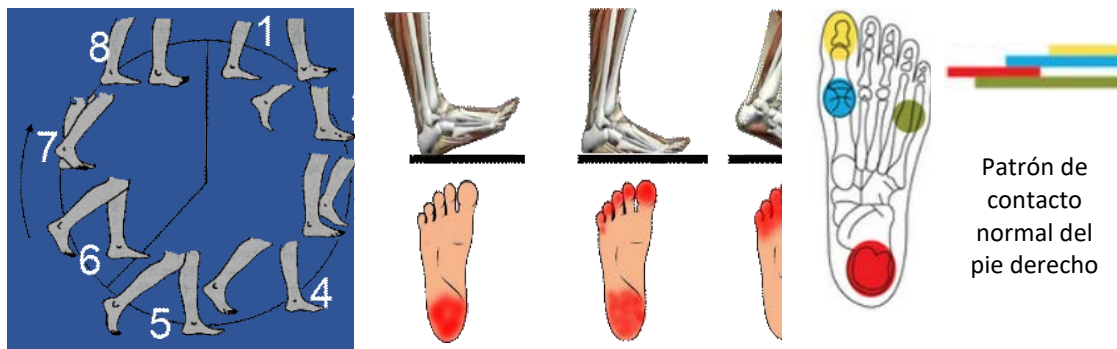


Figura 8. Fases del ciclo de marcha y Distribución de presiones plantares en la marcha
Fuente: Referencia 6

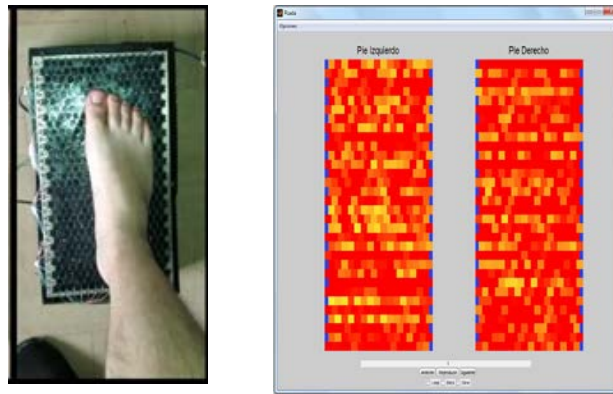


Figura 9. Placa sensora, Prototipo final del Pedígrafo digital e Interfaz gráfica.
Fuente: Elaboración propia

Se logró una placa de aproximadamente 20 cm x 30 cm con 512 sensores de presión redondos dispuestos en forma de panal de abeja con el objetivo minimizar los espacios entre los mismos, consiguiendo que un 91% de la superficie total sea sensible. De esta forma se logra una densidad de 0.92 sensor/cm², que permite una resolución aceptable para la función que se propone realizar.

2.3 Digitalización de la marcha

Diagrama en bloques del sistema de digitalización de la marcha:

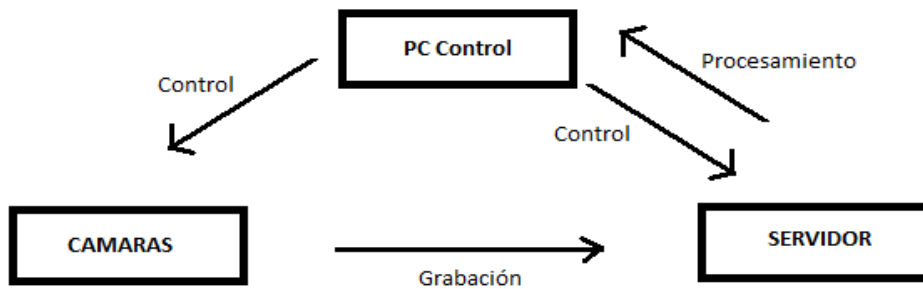


Figura 10. Sistema de digitalización
Fuente: elaboración propia

El desarrollo es un sistema que captura los puntos reflectantes colocados sobre el paciente a tratar y que los digitaliza para obtener un registro de la marcha sobre una pasarela.

Se decidió trabajar con marcadores pasivos y cámaras infrarrojas IP con iluminación LED. Se eligió la cámara DS-2CD2632 de 3 MP de HIKVISION. Se utilizan 3 cámaras similares en el primer prototipo.

Al ser una solución escalable y modular, no existen inconvenientes futuros para incrementar el número de cámaras y prestaciones.

Para el primer prototipo se utilizó lenguaje C++ utilizando el framework QT 5. Esta elección permitía alcanzar la máxima performance en cuanto a aprovechamiento de

recursos de una PC con sistema operativo Linux, distribución Debian. La implementación del software para el sistema se basó en la utilización de software OpenSource, o software de código abierto cuyo código fuente y otros derechos tales como los derechos de autor, son publicados bajo una licencia de código abierto o forman parte del dominio público, permitiendo a los usuarios utilizar, cambiar y redistribuir el software, para cualquier propósito, ya sea en su forma modificada o en su forma original.

El diseño del espacio de trabajo en APRILP consiste en una pasarela sobre piso modular, con 3 (tres) cámaras IP (escalables a 7 cámaras) que capturan el movimiento y guardan las muestras en un Servidor de datos que luego serán analizados en las estaciones de trabajo.

Actualmente se está trabajando en el análisis y caracterización de la interfaz de comunicación de datos y el software de procesamiento de imágenes, y se están llevando a cabo pruebas para posicionamiento óptimo de las cámaras utilizadas en la adquisición de imágenes del paciente.

El sistema se compone de 3 partes bien diferenciadas: PC de control, servidor y cámaras.

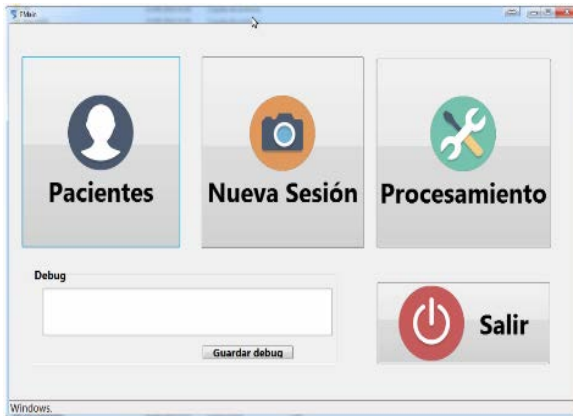
2.3.1 PC de Control

Es el corazón del sistema y encargado del control de las demás partes. Con este control se realizará el procesamiento de la base de datos de pacientes y grabaciones de video de la marcha de los pacientes para su posterior análisis, control de cámaras IP, iniciación de grabaciones, procesamiento y análisis de videos.

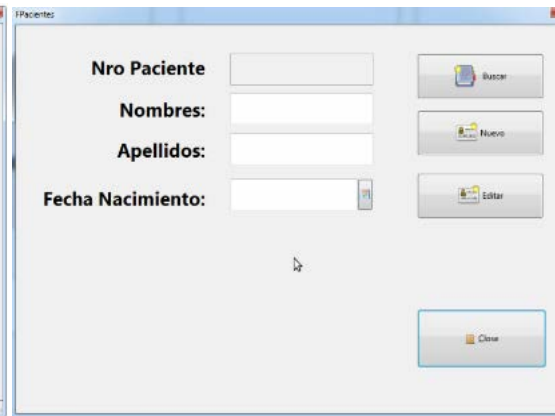
El software para la concreción de estas funciones fue desarrollado con Lazarus, que es un entorno y dialecto basado en lenguaje Delphi. Lazarus es una herramienta de desarrollo rápido de aplicaciones. Se trata de una alternativa libre y gratuita al entorno Delphi, desarrollada como proyecto de software libre a partir de Free Pascal, que es un compilador Pascal portable, libre y de código abierto, que representa una alternativa a los productos comerciales Turbo Pascal y Delphi. Permite desarrollar software multiplataforma (Windows y Linux entre otros). Si bien todo el software de control es multiplataforma, se eligió Windows debido a la familiaridad de los operadores del sistema. Figura 11.

Laboratorio de marcha de bajo costo. Análisis de la postura y el movimiento para diagnóstico e intervención terapéutica.

Pantalla principal:



Pantalla de carga de datos del paciente



Pantalla de captura, grabación de la marcha del paciente

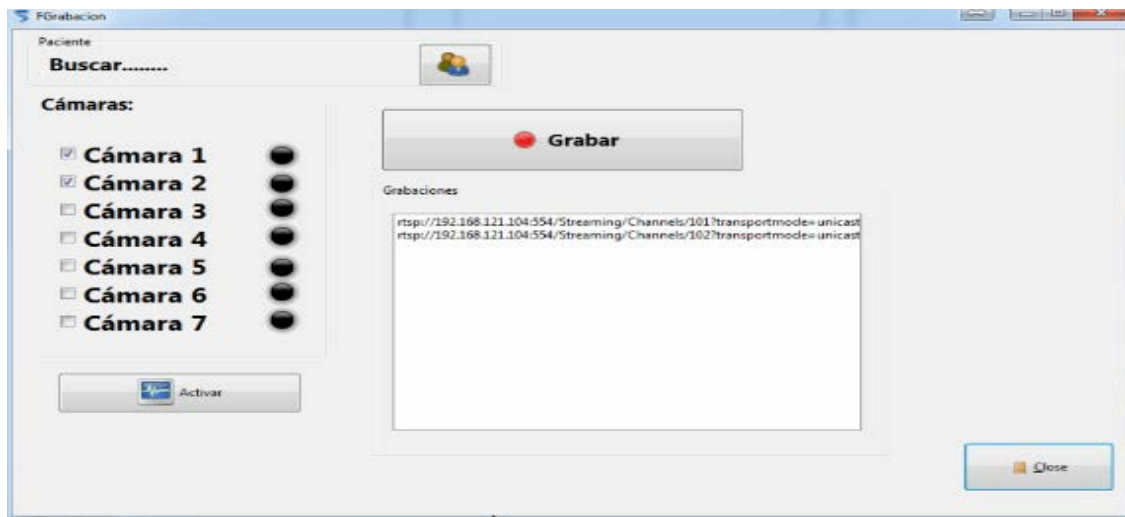


Figura 11. Ejemplo de Capturas del software de control. Fuente: elaboración propia



Figura 12. PC alta gama con monitor (Servidor). Fuente: elaboración propia



Figura 13. PC alta gama para Control . Fuente: elaboración propia

2.3.2 Servidor

Sistema cuya función principal es el almacenamiento de los videos. Tiene como característica poseer una alta capacidad de almacenamiento (aprox. 2 Terabytes de espacio en disco).

El sistema operativo elegido es Linux distribución Debian 9 y todo el software es Open Source. Al ser el software desarrollado de código abierto y distribuido libremente, se logra minimizar ampliamente los costos del Laboratorio de marcha al no ser necesario la adquisición de licencias de software comerciales.

2.3.3 Cámaras para adquisición de las imágenes de marcha

Son cámaras IP, que poseen como ventaja su facilidad de uso e instalación, alimentación PoE y protocolos estándares de streaming de video. Las cámaras IP pueden dar la mejor calidad e imágenes de alta resolución para la captura de movimiento.



Figura 14. Cámaras HD – 4K complementarias para captura de la marcha. Fuente: elaboración propia



Figura 15. Cámara DS-2CD2632 de 3 MP de HIKVISION Fuente: elaboración propia



Figura 16. Prueba captura de puntos reflectantes Fuente: elaboración propia

2.4 Adecuación edilicia del espacio físico

La adecuación edilicia necesaria en el espacio asignado por APRILP para la instalación del Laboratorio de Marcha, donde los médicos fisiatras de APRILP realizarán los estudios de los pacientes, fue una tarea compartida en función de los gastos que se debieron enfrentar para acomodar el lugar.

Laboratorio de marcha de bajo costo. Análisis de la postura y el movimiento para diagnóstico e intervención terapéutica.

Se trabajó en conjunto con profesionales de la Arquitectura para asesoramiento en la adecuación edilicia del espacio físico. Se debieron resolver cuestiones atinentes a especificaciones para la pintura de paredes para evitar interferencias al capturar la posición de los marcadores reflectantes ubicados sobre el paciente, tipo de cierre y protección de ventanas (cortinas para reducir las interferencias de las cámaras durante la adquisición, iluminación de la zona de trabajo (generalmente se recomienda tipo de luz fría), localización del servidor (gabinete vidriado), y en particular el tipo de piso debajo del cual se instalará el pedígrafo digital (para el prototipo se diseñó e instaló sobre una plataforma de madera sobreelevada), el resto del piso debe ser opaco, no siendo un factor de importancia el color del mismo. El techo no debe ser reflectante y el color de las paredes no afecta el funcionamiento del sistema.

Se verificó y reacondicionó la instalación eléctrica del lugar y se instaló un sistema de red para conexión a Internet.

Para la disposición definitiva en APRILP se está estudiando la posibilidad de instalar tapetes anti fatiga para pisos secos que, a su vez, sean pisos modulares, acoplables, lavables y ventilados.

Actualmente el prototipo se encuentra instalado en dependencias de la UIDET CeTAD de la FIUNLP, debido a mejoras edilicias a realizar en APRILP por cuestiones de seguridad de los equipos (Construcción de un gabinete vidriado y jaulas para las cámaras).



Figura 17. Adecuación edilicia con pintura acorde para cámaras IR
Fuente: elaboración propia

2.5. Control de variables biomédicas

A partir de reuniones con los médicos involucrados en el proyecto se generaron requerimientos adicionales para que el estudio y la evaluación del análisis de la marcha fuera más completo, correlacionando sus resultados con la medición de otras variables biomédicas, como presión, temperatura, peso, oxígeno en sangre, etc. motivo por el cual con parte de los subsidios recibidos se adquirieron instrumentos accesorios como tensiómetros, balanzas y oxímetros.

3. Implementación y ensayos preliminares

Se llevaron a cabo diferentes ensayos de partes del sistema para luego ensamblar el Laboratorio de marcha completo. Actualmente, se encuentra instalado en dependencias de la UIDET CeTAD hasta tanto se finalicen las obras de infraestructura edilicia en APRILP.

Se construyó una pasarela provisoria para encastrar los pedígrafos digitales tal como se observa en la Figura 18.



Figura 18. Instalación de pedígrafos en pasarela del Laboratorio de marcha implementado en CeTAD Fuente: elaboración propia



Figura 19. Prueba de cámara (Análisis y caracterización de interfaz de comunicación de datos y software de procesamiento de imágenes para diagnóstico) Fuente: elaboración propia



Figura 20. Sistema en ejecución con ambos monitores funcionando en simultáneo observando las imágenes y el resultado del Software. Fuente: elaboración propia

4. Resultados y Trabajos a futuro

De las pruebas y ensayos realizados hasta el momento se han obtenido los resultados esperados, que serán validados una vez que se consiga la implementación definitiva del equipamiento desarrollado en el espacio asignado por APRILP en sus dependencias en la ciudad de La Plata. Para la validación del Laboratorio de Marcha, APRILP ha tomado contacto con profesionales de FLENI, que cuentan con una extensa trayectoria en el tema y han comprometido su colaboración. Se espera comenzar prontamente con la realización de pruebas clínicas para su validación.

Las líneas de acción futuras respecto del prototipo del pedígrafo incorporado consisten en acrecentar la densidad de sensores con el objetivo de aumentar la resolución en pantalla, introducir una comunicación inalámbrica entre el pedígrafo y la computadora para no estar limitado a las distancias máximas que establece el protocolo USB, lograr una aplicación independiente basada en software libre de la plataforma desarrollada con la licencia académica de MATLAB (Se pretende utilizar OCTAVE, compatible con MATLAB) y, optimizar la aplicación de software para mostrar la reconstrucción de las huellas plantares con “píxeles redondos” en lugar de cuadrados, con la meta de añadir aún más realismo al resultado en pantalla.

Debido a la dificultad en la obtención de fondos para el desarrollo del Laboratorio de Marcha, se optó por un desarrollo con componentes de bajo costo, escalable y modular para poder incrementar prestaciones a medida que se fuera obteniendo el financiamiento correspondiente.

Para la implementación de mayores prestaciones del Laboratorio se deben obtener nuevos subsidios para su financiamiento, Un parámetro clásico de los Laboratorios de Marcha son los sensores de actividad mioeléctrica, no considerados en esta primera etapa del prototipo debido a que se deben solicitar nuevos subsid

5. Conclusiones

La innovación tecnológica es la actividad cuyo resultado es la puesta a disposición del mercado de nuevos productos, o procesos, o mejoras sustancialmente significativas de las ya existentes. Por actividades de innovación se entienden la incorporación de tecnologías materiales e inmateriales, el diseño industrial, equipamiento e ingeniería industrial, lanzamiento de la fabricación, comercialización de nuevos productos y procesos. Habitualmente, el desarrollo tecnológico comprende la utilización de los conocimientos adquiridos en la investigación aplicada para la producción de materiales, dispositivos, procedimientos o servicios nuevos, tal es el caso del Laboratorio de Marcha modular, escalable y de bajo costo implementado [7]. En esta etapa se puede decir que se ha obtenido el conocimiento a aplicar, el “Know How” (saber hacer), generalmente confidencial, y se puede desarrollar, por lo tanto, el prototipo de la instrumentación a implementar. Finalmente, si los resultados del prototipo son eficaces y viables, se realizan inversiones para producir y vender al mercado el producto desarrollado. Entonces, cuando el mercado o la sociedad aceptan el producto o servicio, éste se convierte en Innovación Tecnológica.

Los desarrollos tecnológicos y la instrumentación aplicada a la discapacidad forman un área de investigación con muy poco desarrollo en nuestro país, por lo que el desarrollo del proyecto de laboratorio de marcha es un avance importante en esta área de vacancia en involucra cambios conceptuales en el perfil profesional de la Ingeniería.

Se ha logrado implementar un primer prototipo de bajo costo de un Laboratorio de marcha, utilizando como parte de financiamiento el subsidio otorgado a través del PROCODAS (Proyectos de tecnologías para la inclusión social), teniendo en cuenta que el valor del equipo comercial original importado alcanza el valor de 200.000 dólares, y que en una primera estimación se consideró que la implementación del equipo propuesto rondaría los \$150.000 (ciento cincuenta mil pesos). Debido a esta estimación presupuestaria el proyecto se presentó a convocatorias específicas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata y de la Secretaría de Políticas Universitarias, que completaron el valor estimado permitiendo el grado de avance obtenido y permitirá solventar lo que resta para su implementación final y definitiva. El total del financiamiento recibido hasta el momento ronda los U\$S 12.000, utilizado sólo en la compra de elementos componentes del Laboratorio, no habiéndose considerado otros costos adicionales como uso de infraestructura y laboratorios de la FIUNLP ni salarios docentes.

La estrategia para la mejora continua del Laboratorio de marcha es que, habiendo sido concebido como un equipo modular escalable, su actual implementación permitirá realizar las mejoras necesarias para incrementar sus prestaciones futuras, a medida que su uso determine nuevas necesidades. Se han adquirido y diseñado sus elementos componentes tratando de minimizar los costos al máximo: Cámaras para monitoreo y evaluación del paciente a través de las imágenes, marcadores reflectantes para reconstrucción y medición de ángulos, placa sensible al pisado, interfaz entre cámaras y computadora, software de adquisición y procesamiento de datos, instrumentos de medición accesorios y adecuación de la infraestructura edilicia.

El Laboratorio constituye una innovación tecnológica en nuestro país, debido a que su desarrollo permite sustituir importaciones de alto costo. En la actualidad existe un equipo muy complejo en el FLENI, donde cada estudio representa un alto costo para el paciente, lo que lo convierte en un tratamiento para pocas personas con medios económicos y obras sociales que incluyan este tipo de práctica para diagnóstico.

Laboratorio de marcha de bajo costo. Análisis de la postura y el movimiento para diagnóstico e intervención terapéutica.

El proyecto del Laboratorio de marcha fue inicialmente incluido entre los desarrollos tecnológicos del proyecto general “Electrónica e Informática aplicada a la instrumentación para Necesidades Educativas Especiales (NEE) y Discapacidad en UNITEC”, que ha obtenido el primer Premio Ciencia y Comunidad Dr. Rodolfo Ugalde en el Rubro Desarrollo social y salud, otorgado por la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires el 1 de setiembre de 2016 en el marco del 3er. Congreso Científico y Tecnológico de la CIC y el primer Premio a la Innovación 2017 otorgado por la Universidad Nacional de La Plata.

Recibió también el Premio Innovación 2017 de la Universidad Nacional de La Plata.

Se realizaron dentro de este proyecto varias Prácticas Profesionales Supervisadas y Proyectos Finales de Carrera de alumnos de la Carrera de Ingeniería Electrónica de la UNLP, dentro de la filosofía de enseñanza por competencias, actualmente base exigida por la CONEAU para la acreditación de nuevas carreras de Ingeniería.

6. Referencias

- [1] MARTÍNEZ CARRILLO F., GÓMEZ JARAMILLO F., ROMERO CASTRO E. (2010). *Desarrollo de un laboratorio de marcha con integración sincrónica mediante una arquitectura en módulos*. Acta biol. Colomb., Volumen 15, Número 3, p. 235-250, 2010. ISSN electrónico 1900-1649. ISSN impreso 0120-548X.
- [2] HARO D, M. (2014). *Laboratorio de análisis de marcha y movimiento* Rev. Med. Clin. Condes d; 25(2) 237-247
- [3] CRESPO, M. (2006) *Desarrollo de herramientas de análisis y modelización en el laboratorio de marcha y estudio de movimientos de FLENI*. XI Jornadas Internacionales de Ingeniería Clínica y Tecnología Médica.
- [4] CRESPO, M. (2009) *Laboratorio de marcha y análisis de movimiento. Principios básicos y aplicaciones clínicas*. Arch. Neurol. Neuroc. Neuropsiquiatr., 18, (2), 49-55.
- [5] <http://www.stanfordchildrens.org/en/service/motion-gait-analysis-laboratory/gait>. Acceso junio 2018.
- [6] BARRIENTOS, M. (2015) *Desarrollo de Instrumentación Electrónica para Relevamiento de Huellas Plantares en Tiempo Real*. Trabajo Final de Carrera Ingeniería Electrónica. FIUNLP.
- [7] FERRARI F., GONZÁLEZ M. L., CORDERO M.C. *Electrónica e Informática aplicada a la instrumentación para necesidades especiales en UNITEC: un proyecto de Extensión e Investigación en contexto*. http://extension.unicen.edu.ar/jem/subir/uploads/1323_2016.pdf