

## **Sistema de análisis instrumentado de la marcha, de bajo costo, para Centro de Rehabilitación**

Ferrari Flavio A., Blasetti Fabián H., Vera José O.

UNITEC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

flavioaferrari@gmail.com, fabian.blasetti@claro.com.ar, eamoreo@ing.unlp.edu.ar

### **Resumen**

Dentro de las actividades que desarrolla la UIDET UNITEC son de gran importancia los proyectos de extensión nacidos a partir de la requisitoria de parte de la sociedad. A partir de las necesidades expuestas por profesionales de la salud, médicos fisiatras, que prestan servicios en APRILP La Plata (Asociación Pro Rehabilitación Infantil La Plata) se decidió realizar el desarrollo, diseño y construcción de un Laboratorio de marcha en sus instalaciones, para atención de personas con discapacidad neurolocomotora de bajos recursos, no mutualizada y con derivación desde hospitales de toda la provincia de Buenos Aires. En la República Argentina no existe un Laboratorio de estas características en ningún ente de salud estatal ni en organizaciones no gubernamentales como APRILP.

El Laboratorio de marcha para análisis de movimiento de bajo costo con fines asistenciales es un proyecto que ha sido acreditado y subsidiado alternativamente por la Universidad Nacional de La Plata, la facultad de Ingeniería de la UNLP, Programa de Voluntariado Universitario y el Proyecto del Programa Consejo de la Demanda de Actores Sociales (PROCODAS).

Se pretende describir brevemente la importancia del análisis instrumentado de la marcha, su aplicación en la Clínica médica y el desarrollo ingenieril del sistema.

### **Introducción**

Desde tiempos remotos el análisis del movimiento humano y especialmente de la marcha, ha interesado a los profesionales de la salud, llevando al desarrollo de diferentes métodos para su estudio [1]. Con el avance tecnológico que se ha producido en los últimos años, la utilización de sistemas computacionales por los avances en la informática, se han desarrollado sistemas para análisis del movimiento humano sumamente complejos. Los mismos permiten recabar gran cantidad de información para su utilización en la mejora de la calidad de los tratamientos de rehabilitación para personas con discapacidades neurolocomotoras. Una de las áreas más desarrolladas del estudio del movimiento, corresponde al estudio de la marcha humana normal

y sus alteraciones. El análisis cuantitativo de la marcha es reconocido como una herramienta de investigación y enseñanza, además de tener grandes aplicaciones en el campo clínico para el estudio y tratamiento de sus alteraciones. Han habido grandes avances en patologías tales como la parálisis cerebral, espina bífida y enfermedades neuromusculares, entre otras, al facilitar la comprensión de los mecanismos subyacentes de sus alteraciones, definir perfiles de evolución en el tiempo, orientar y controlar de manera más objetiva los tratamientos y sus resultados con una mirada funcional, determinando mejores resultados y optimización de los recursos.

El Laboratorio de Marcha es un sistema integrado que permite registrar variables asociadas al movimiento y fuerzas generadas durante la marcha de un paciente (tanto niño como adulto) en función del tiempo utilizado para el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades del sistema locomotor [2-6].

El nivel de detalle y la calidad de la información provista por el equipo, facilita el reconocimiento preciso de los principales problemas funcionales y su relación con la causa que los genera, información que al ser evaluada permite la interpretación de la disfunción [2]. La adecuada interpretación diagnóstica sustenta la propuesta de tratamiento más efectiva para el paciente. La selección del tratamiento puede involucrar la planificación de programas de rehabilitación kinésica funcional, la planificación quirúrgica de alta precisión orientada al menor número de tiempos operatorios y de internaciones posibles, el diseño de programas de rehabilitación postoperatoria de gran efectividad, la decisión de un tratamiento farmacológico o la evaluación de equipamiento ortésico y de asistencia [5,6].

### **Descripción del Proyecto**

La UIDET UNITEC (Unidad de Investigación, Desarrollo, Extensión y Transferencia para la Calidad de la Educación en Ingeniería con orientación al uso de TIC) funciona en el Departamento de Electrotecnia de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata. Dentro de sus objetivos se fomentan actividades de transferencia de conocimientos y articulación con distintos sectores educativos y sociales por medio de actividades de extensión, según diversos requerimientos de personas con necesidades especiales por medio del diseño y ejecución de sistemas sustentados en la electrónica y la informática. Esta temática es una nueva visión de la práctica de la Ingeniería y en particular de la rama de la electrónica.

Por estas razones, ante el requerimiento de los médicos fisiatras involucrados en el tema y ante la necesidad de resolver un problema específico de la región en cuanto a la salud de su población se decidió llevar adelante la implementación de un Laboratorio de Marcha de bajo

costo (replicable, modular y escalable) destinado a la institución A.P.R.I.L.P. (Asociación Pro Rehabilitación Infantil La Plata).

## **Objetivos**

El proyecto tiene como objetivo el desarrollo de un sistema integrado que permita registrar variables asociadas al movimiento y fuerzas generadas durante la marcha de un paciente (tanto niño como adulto) en función del tiempo, utilizado para el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades del sistema locomotor. El nivel de detalle y la calidad de la información provista, facilitará reconocer los principales problemas funcionales y su relación con la causa que los genera, información que es evaluada consensuando la interpretación de la disfunción por los profesionales de la salud. La adecuada interpretación diagnóstica sustenta la propuesta de tratamiento más efectiva para el paciente. La selección del tratamiento puede involucrar la planificación de programas de rehabilitación kinésica funcional, la planificación quirúrgica de alta precisión orientada al menor número de tiempos operatorios y de internaciones posibles, el diseño de programas de rehabilitación postoperatoria de gran efectividad, la decisión de un tratamiento farmacológico o la evaluación de equipamiento ortésico y de asistencia.

Sólo existe en el país un Laboratorio de Marcha en una institución privada. Debido a su alto costo (aproximadamente 200.000 dólares), los hospitales e instituciones de rehabilitación estatales y ONGs sin fines de lucro dedicadas a la atención de personas con diferentes discapacidades motoras carecen de este importante instrumento para determinación de acciones diagnósticas y terapéuticas. El laboratorio proyectado se instalará en la asociación APRILP (Asociación pro Rehabilitación Infantil La Plata), una entidad donde se rehabilitan niños y adultos en forma gratuita, y se reciben derivaciones de la mayoría de los organismos de salud de la provincia de Buenos Aires para su atención. El proyecto sustenta la idea de replicar el modelo también en otros hospitales del país y sustituir su importación.

Para su concreción se han reunido profesionales y alumnos de años superiores de diferentes disciplinas, de la Ingeniería y otras, bajo la coordinación y dirección de la UIDET UNITEC. Intervienen otras dos UIDETs de la Facultad de Ingeniería en aspectos relacionados con cuestiones electrónicas específicas (UIDET CeTAD, Centro de Técnicas Analógico-Digitales) y para lograr el financiamiento necesario para la implementación del sistema completo (UIDET FEP "Formulación y Evaluación de Proyectos"). En todas las UIDETs se promueve la colaboración de alumnos de Ingeniería de los últimos años de la carrera para el desarrollo de competencias a través del aprendizaje por proyectos, que los acerquen a la realidad de sus

futuras actividades laborales y profesionales, propiciando mejorar la calidad del proceso educativo en un marco de colaboración.

## **Metodología**

La metodología de trabajo comprende el estudio teórico de la instrumentación de acuerdo a la aplicación solicitada.

El laboratorio de marcha permite:

- Establecer los prerrequisitos de la marcha normal, muy bien definidos por el Dr. James Gage (ver Bibliografía), que son:
  - o Estabilidad durante el apoyo.
  - o Paso libre del pie durante el balanceo.
  - o Longitud adecuada del paso.
  - o Preparación del pie para el contacto inicial.
  - o Conservación de la energía.
- Reconocer la importancia de las estructuras óseas al proveer de un brazo de palanca sobre el cual los músculos producen los movimientos.
- Reconocer la importancia de los músculos biarticulares, al transformar la energía cinética de un extremo del músculo en energía potencial en el otro extremo del mismo.
- Separar las anomalías producidas por la lesión neurológica, de las alteraciones secundarias, que no son más que mecanismos que utiliza el individuo, para superar las limitaciones que provocan las primeras, a costa de altos gastos energéticos.
- Disminuir los consumos de energía de la marcha patológica.

Es importante observar el patrón de marcha que realiza el paciente pudiendo observarlo de perfil y de frente, puesto que esto ofrece información de los eventos que tienen lugar en el plano frontal y sagital. Cabe destacar que el análisis visual de la marcha mediante cámaras de video es más confiable que la simple observación de la marcha, ya que cuando un individuo camina a un ritmo normal ocurren diferentes eventos en cada una de las articulaciones de forma simultánea que resultan muy difícil de ser evaluados por el ojo humano.

Un sistema de registro de video permite captar imágenes de frente y de perfil y realizar una observación y estudio a cámara lenta y de forma repetida tantas veces como sea preciso. Así mismo, al obtener un registro objetivo facilita poder valorar y comparar a un mismo paciente en diferentes situaciones (p.ej. con o sin ortesis, con o sin uso de ayudas externas) o entre diferentes momentos (p. ej. pre y post intervención o seguimientos periódicos).

El análisis computarizado de la marcha permite integrar las informaciones obtenidas en las valoraciones (revisión de la historia clínica, exploración física y análisis visual de la marcha) junto a un análisis cuantitativo de la misma. El análisis cuantitativo permite obtener una descripción de la cinemática y de la cinética del movimiento; pudiendo ser completado por un registro de la actividad muscular (EMG) durante la marcha. Este tipo de análisis se lleva a cabo en los denominados laboratorios de marcha o laboratorios de análisis del movimiento.

El anteproyecto permite determinar de manera general los elementos constitutivos del laboratorio que son:

\* Un sistema de captura de movimiento, para evaluar la Cinemática

\* Plataformas para la medición de fuerzas, para el cálculo de la Cinética

\* Un sistema de electromiografía, para medir la actividad muscular durante la marcha

El proyecto en sí consistirá en la unión de toda la instrumentación (sensores, cámaras y software), la construcción de los dispositivos de medición y control, ensayos finales, y conclusiones.

La validación, entendida como la determinación que un instrumento cumple con la función que se propone será el paso final de evaluación del laboratorio.

Debido a la envergadura del Laboratorio de Marcha se cuenta con el acuerdo de las tres Unidades de Investigación, Desarrollo, Investigación y Transferencia de la FIUNLP mencionadas previamente.

En todas las UIDETs se promueve la formación de alumnos de Ingeniería de los últimos años de la carrera en el desarrollo de competencias a través del aprendizaje por proyectos, que los acerquen a la realidad de sus futuras actividades laborales y profesionales.

Otro aspecto a considerar en el Proyecto es la difusión del mismo con el objetivo de obtener financiamiento para su concreción completa y hacer conocer la necesidad de contar con este tipo de instrumentación y los beneficios de su utilización por parte de los médicos fisiatras.

## **Actividades**

1 - Reconocimiento de las necesidades para concreción del proyecto (Organizaciones: APRILP, UNITEC)

2 - Especificaciones de uso y técnicas. (Organizaciones y Extensionistas)

3 - Clasificación y elección de componentes o sistemas de programación a utilizar. (Extensionistas UNITEC-CeTAD)

4 – Búsqueda de financiamiento (Organizaciones: Formulación y Evaluación de Proyectos)

- 4- Diseño, construcción e implementación. (Extensionistas)
- 5- Verificación de resultados en laboratorio. (Organizaciones APRILP y Extensionistas UNITEC)
- 6- Utilización y operación de sistemas por los beneficiarios. (Organizaciones)
- 7- Análisis del sistema, por los fisiatras involucrados en su uso. (Organizaciones)
- 8- Correcciones al sistema. (Organizaciones y Extensionistas)

## Resultados

El proyecto, de característica bianual se ha separado en 3 módulos o fases:

- Digitalización de la pisada (pedígrafo digital)
- Digitalización de la marcha (análisis del movimiento)
- Adecuación edilicia del Laboratorio (pintura, piso, red eléctrica y de datos)

En la actualidad se ha logrado llegar a implementar el prototipo del Pedígrafo digital, basado en el Trabajo Final de carrera de Ingeniería Electrónica [7]; el cual posee una interfaz USB con la PC y Software de captura de datos y análisis de los mismos. En las siguientes figuras se puede apreciar el avance del prototipo antes mencionado. En la Figura 1 el pedígrafo completo en la versión del año 2007, que no es posible replicar debido al costo de los sensores utilizados y a su imposibilidad de importación. La Figura 2 muestra los primeros ensayos realizados con gomas conductivas marca AVIGOM y los correspondientes prototipos para dedo (matriz de 4x3) y para mano (matriz de 8x8 sensores). Y en la Figura 3 el prototipo final para un pie hasta talle 42.

Actualmente se está trabajando en este prototipo final y su réplica pues en la pasarela del Laboratorio deberán colocarse dos placas iguales, una para cada pie del paciente en estudio.

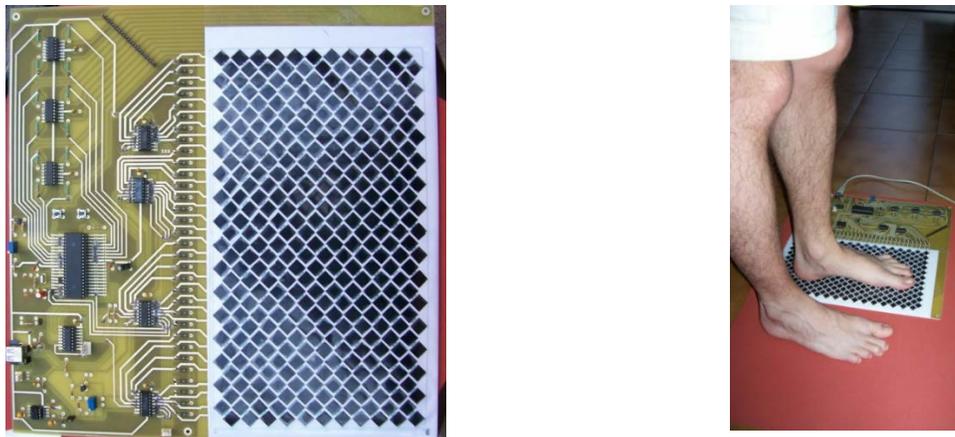
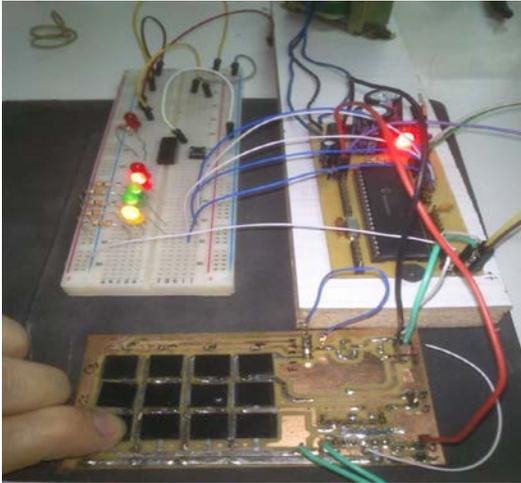
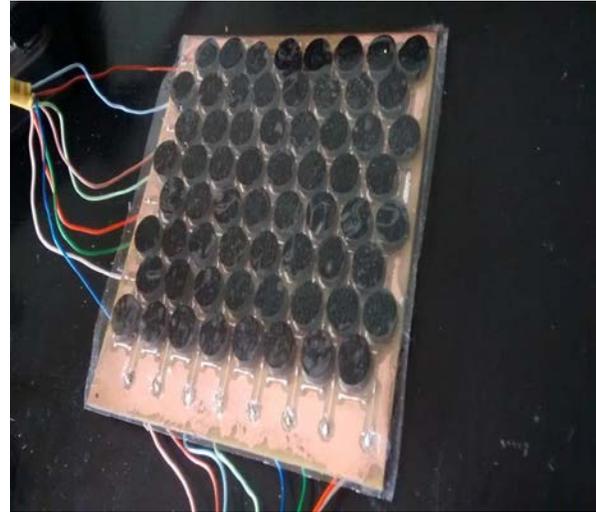


Figura 1. Pedígrafo digital



**Prototipo para dedo (matriz 4x3)**



**Prototipo para mano (8x8)**

Figura 2. Prototipos iniciales con gomas conductivas marca AVIGOM

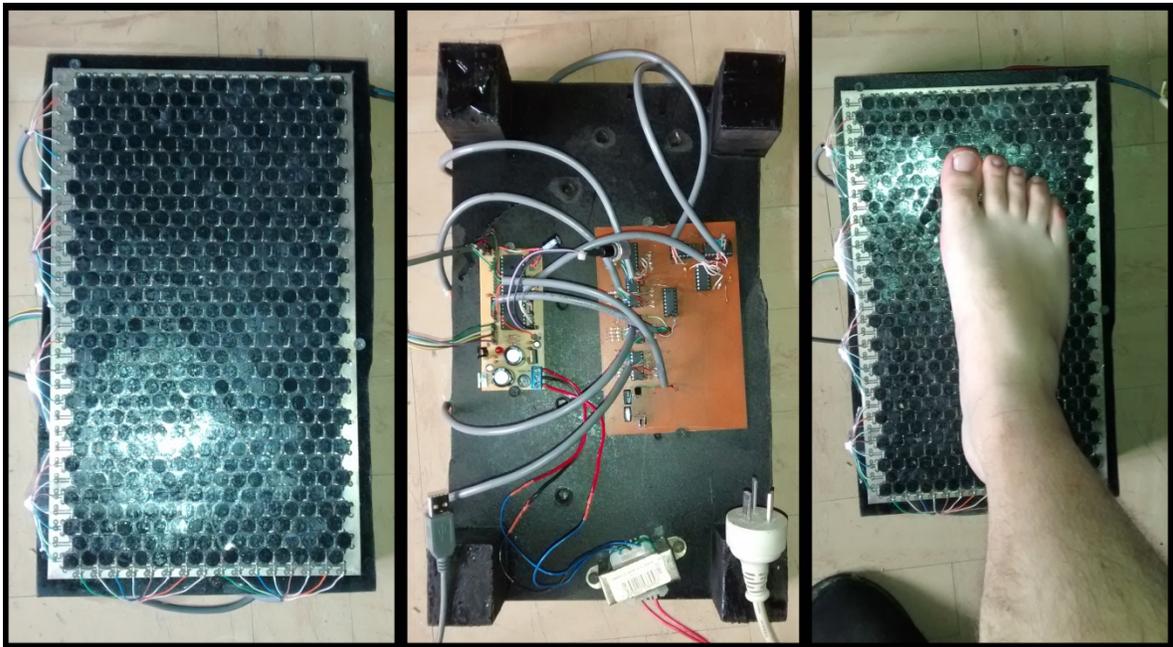


Figura 3. Prototipo final. Matriz para un pie de hasta talla 42. Realizado con gomas AVIGOM redonda de 3,5 mm de espesor (testada en el GEMA)

Las gomas conductivas fueron verificadas en su funcionamiento en los Laboratorios del Grupo de Ensayos Mecánicos del Departamento de Aeronáutica de la Facultad de Ingeniería.

Digitalización de la marcha: Se encuentra en estudio el desarrollo de un sistema que capture los puntos reflectantes colocados sobre el paciente a tratar, y que los digitalice para obtener un registro de la marcha sobre una pasarela. Se ha decidido trabajar con marcadores reflectantes pasivos y cámaras infrarrojas IP con iluminación LED. La cámara elegida es la DS-2CD2632 de 3 MP de HIKVISION, y se están realizando las primeras pruebas para la obtención de imágenes y su posterior procesamiento.

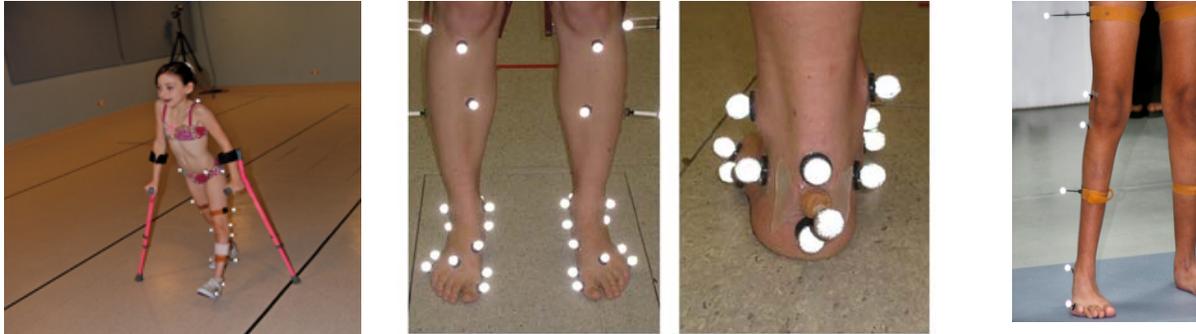


Figura 4. Digitalización de la marcha

En cuanto al software se ha diseñado un primer prototipo en lenguaje C++ utilizando el framework QT 5. Esta elección se decidió en función de alcanzar la máxima performance en cuanto a aprovechamiento de recursos de una PC. El sistema operativo seleccionado es Linux, distribución Debian. Todo el sistema se basa en utilizar software OpenSource, sin necesidad de pagar ninguna licencia de uso. El software se halla a cargo del Ing. José Vera de UNITEC.

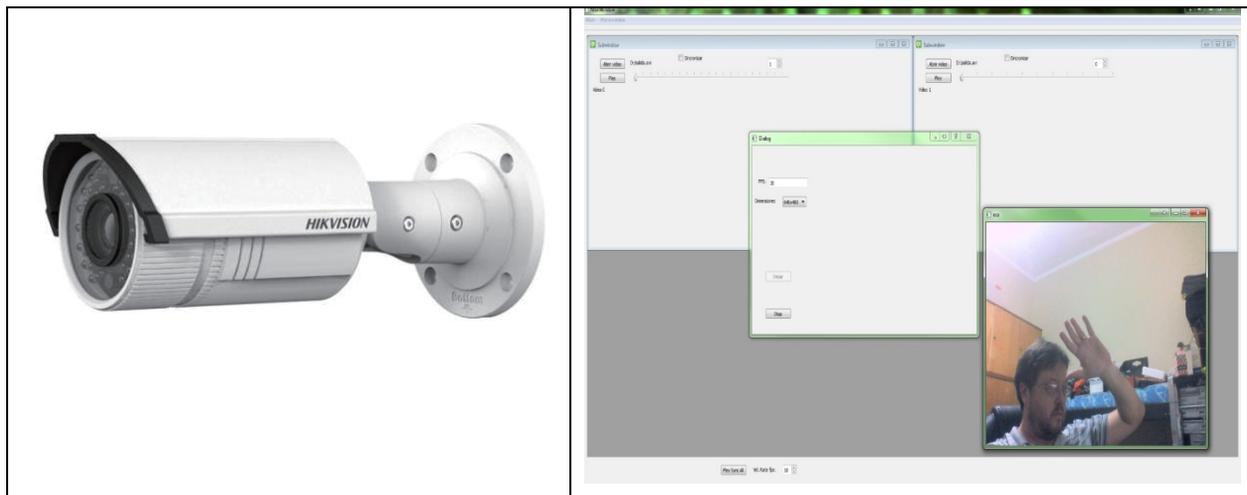


Figura 5. Desarrollo del software

Respecto de la adecuación edilicia del Laboratorio de marcha en instalaciones de APRILP, se han gestionado las primeras reuniones con profesionales de la Facultad de Arquitectura, ingenieros civiles y electricistas para determinar el tipo de infraestructura más conveniente, comprendiendo decisiones en cuanto a cierre de ventanas, elección de pisos que puedan cubrir los pedígrafos desarrollados que deben estar inmersos en la pasarela pero no ser vistos por los pacientes para no forzar la marcha. También, y por ser un sistema con cámara, deberá seleccionarse correctamente el tipo de pintura de paredes y la mejor distribución para las instalaciones eléctrica y de datos.

Se pretende diseñar en el espacio de trabajo en APRILP una pasarela sobre piso modular, con al menos 3 (tres) cámaras IP que capturen el movimiento y guarden las muestras en un Servidor de datos para luego ser analizados en las estaciones de trabajo

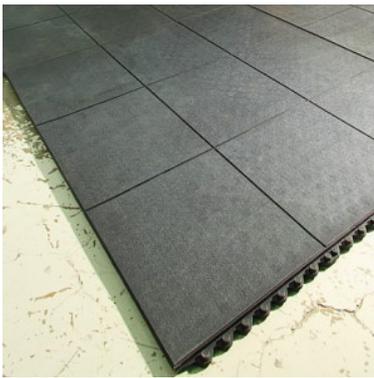


Figura 6. Tapetes anti fatiga para pisos secos utilizados en Gimnasios (1) y pisos modulares acoplables, lavables, ventilados (2)

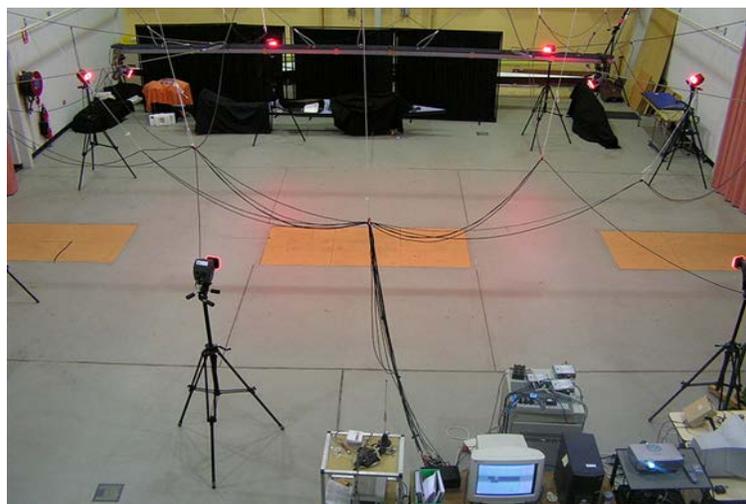


Figura 7. Laboratorio de marcha a implementar en 2016

## **Conclusiones**

El desarrollo del presente proyecto permitirá la continuación de las tareas de extensión que el equipo de trabajo de UNITEC viene implementando en diversas comunidades de nuestra región y a través de este y otros proyectos. Consideramos que, cuando la comunidad participa y se concientiza en la necesidad de colaborar íntimamente para la producción de bienes y servicios para el desarrollo humano y social de una comunidad no siempre tenida en cuenta con suficiente profundidad, como lo es la comunidad de las personas con discapacidad y necesidades especiales, se ve engrandecida y da ejemplo para la inclusión y mejora de la calidad de vida de los mismos.

El Laboratorio de marcha es una necesidad para un sinnúmero de personas afectadas por dificultades neuromotoras. La posibilidad que les brinda ser estudiadas por este medio les permite lograr una mejoría en el desarrollo de su enfermedad o dificultad locomotriz.

El proyecto se basa en el desarrollo de un equipo modular, escalable y replicable, con el fin de ir incrementando prestaciones a medida que se obtengan los recursos para su financiamiento. Estas tres características son la base para la sostenibilidad/replicabilidad del proyecto. Además podrá contar con el registro de datos para estadísticas futuras.

La meta fundamental del Proyecto es el armado completo de un Laboratorio de Marcha de Bajo Costo, que se pueda replicar en otros centros de la provincia de Buenos Aires para su aplicación en el tratamiento y rehabilitación de pacientes sin recursos con enfermedades neurolocomotoras, de modo de lograr una mejoría en su calidad de vida e inserción plena en la sociedad que los circunda. La colaboración de los profesionales de FLENI asesorando el grupo integrante del proyecto permite visualizar la posibilidad de éxito.

Permite sustituir una importación de alto costo por un equipo nacional de bajo costo, replicable a otras instituciones para mejorar la calidad de vida de pacientes con dificultades neurolocomotoras.

A través de este proyecto se pretende integrar los conocimientos de los alumnos que participan, orientados a la motivación y al interés de su propia carrera, como medio de evitar la deserción universitaria y guiarlos al conocimiento de la Ingeniería social comprometida con sectores necesitados de la comunidad, parte esencial de la Responsabilidad Social Universitaria.

## **Agradecimientos**

Los autores desean agradecer a la UIDET UNITEC, a todos sus integrantes y colaboradores sin cuyo trabajo no se hubiera podido llevar adelante el presente proyecto. En particular, agradecemos a la Mg. Ing. María Cristina Cordero y a la Esp. Ing. Mónica L. González la lectura crítica del presente trabajo y su criterioso asesoramiento.

## **Bibliografía**

1. Haro M., 2014. Laboratorio de Análisis de la marcha y movimiento. Re, Med. Clin. Condes, 25(2) 237-247
2. Crespo M., 2009. Laboratorio de marcha y análisis de movimiento. Principios básicos y aplicaciones clínicas. Arch. Neurol. Neuroc. Neuropsiquiatr. 18,(2), 49-55
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. Manzanos García A., 2010. Análisis de la marcha. Revisión de los sistemas de análisis utilizados en la actualidad. XXXIII documento de la Sociedad Española de Fisioterapia en Pediatría. SEIP.
5. Gage J.R., 2004. Gait Analysis in Cerebral Palsy. 2ª Ed. London, MacKeith Press
6. Presedo A., 2012. Introducción al Análisis Cuantitativo de la Marcha. Apuntes del Seminario Fisiología y Tratamiento de los problemas ortopédicos en pacientes con Parálisis Cerebral. Postgrado de Fisioterapia en Pediatría. Universidad Internacional de Cataluña.
7. Urcola U., Fernández Corazza M., 2007. Trabajo Final Ingeniería Electrónica. Sistema electrónico para la medición de la distribución de fuerzas en el pie con aplicaciones médicas.
8. Barrientos, M., 2015. Trabajo Final Ingeniería Electrónica. Desarrollo de Instrumentación Electrónica para Relevamiento de Huellas Plantares en Tiempo Real