

# Potentiometric method as an alternative for the analysis of human gait

Cristóbal Arque, Víctor J. Toranzos, Oscar G. Lombardero

*Grupo de Ingeniería en Rehabilitación (GRIER), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura, Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes, Argentina.*

---

**Abstract**— El estudio de la marcha humana es un conjunto de mediciones y procesos analíticos a fin de poder determinar los parámetros normales biomecánicos de la dinámica del movimiento de traslación del ser humano. Existen diferentes métodos para determinar tales parámetros. El presente trabajo, realizado con carácter de investigación aplicada, consistió en la implementación de un sistema sencillo para la determinación de la distancia entre pasos en una caminata normal y la velocidad en pasos por minuto, basado en un método potenciométrico. La adquisición de los datos para la obtención de estos parámetros se efectuó por medio de un microcontrolador ATmega328, y utilizando con un software de cálculo libre. Las muestras fueron tomadas sobre una tabla con cintas metálicas distribuidas uniformemente, interconectadas con resistencias y alimentadas con una fuente de baja tensión.

**Keywords**— marcha humana, método potenciométrico, rehabilitación.

---

**Resumen**— The study of human gait is a set of measurements and analytical processes in order to determine the normal biomechanical parameters of the dynamic motion translating human processes. There are different methods to determine these parameters. This work, carried out as a matter of applied research, involved the implementation of a simple system for determining the distance between steps in a normal walking and speed in steps per minute, based on a potentiometric method. The data acquisition for obtaining these parameters is performed by a microcontroller ATmega328, using a free software calculation. Samples were taken on a table with metal strips evenly distributed, interconnected resistors and fed a low voltage source.

**Palabras clave**— human gait, potentiometric method, rehabilitation.

---

## I. INTRODUCCIÓN

El estudio de la marcha humana corresponde a una rama de la medicina que permite el diagnóstico de patologías del desplazamiento cuyas causas pueden tener diversos orígenes. Este movimiento articulado debe realizarse en forma coordinada a fin de cumplir el rol de permitir el traslado de la persona, en forma autónoma. En el caso de una anomalía de la marcha se pueden implementar distintos métodos de diagnóstico para determinar la causa y establecer el tratamiento. Entre los más populares y simples encontramos la determinación del tamaño del paso y de la velocidad en pasos por minuto. Otros métodos más elaborados permiten estudiar la cadencia y el grado de inclinación del plano sagital respecto de su vertical.

### *La marcha humana*

La marcha humana es un medio de locomoción bípedo con una actividad alternada de los miembros inferiores, que se caracteriza de un doble apoyo y de apoyo unipodal, es decir que nunca se deja de tener contacto con el suelo. Esto puede no suceder durante el salto o la carrera, donde existen fases aéreas de muy poca duración. La marcha es una actividad aprendida, que se inicia desde la infancia, cuando el niño comienza a controlar sus movimientos con el sistema neuromuscular. Esta dinámica se va estableciendo y caracterizando hasta los 7 u 8 años. Luego, progresivamente se modifica el tamaño del paso hasta llegar a los 15 años

aproximadamente. Aun a pesar de ser un proceso individual, la semejanza entre sujetos puede ser tal que puede hablarse de un patrón característico de marcha humana normal, patrón que puede variar según distintas circunstancias como ser el terreno, la velocidad, la pendiente, y sobre todo bajo condiciones patológicas.

### *El laboratorio de marcha*

El laboratorio de marcha consiste en un conjunto de sistemas y métodos de medición de parámetros biomecánicos, propios de la caminata o deambulacion humana, con el fin de establecer anomalías patológicas de la marcha y relacionarlas con daños neuromusculares. Las mediciones más comunes están relacionadas con el control neurológico de parámetros espacio – temporales como velocidad de marcha, longitud de paso, longitud de zancada, cadencia, tiempo de apoyo simple, etc. Esto permite evaluar la marcha cuando se la compara con las medidas estándares para una edad determinada. [11]

### *Parámetros de la marcha*

Los parámetros que pueden obtenerse en un laboratorio de marcha son:

- a) Parámetros temporo-espaciales: Referidos al cálculo de indicadores tales como la velocidad de marcha, largo de los pasos, cadencia (número de pasos por minuto), ancho del paso y duración de las

fases del ciclo de marcha entre otros. Estos son calculados en base a los datos obtenidos de la posición de los marcadores.

- b) Cinemática: el individuo camina a lo largo del sendero de marcha, y un sistema de captura tridimensional compuesto por 6, 8 o 12 cámaras de IR conectadas a una PC van registrando la marcha. La radiación infrarroja emitida por una fuente es reflejada por marcadores ubicados sobre la piel del paciente y capturada dichas cámaras. Las imágenes son procesadas por un algoritmo para la representación articular de los miembros.
- c) Cinética: Corresponde a la medición de las reacciones producidas entre la fuerza ejercida por el peso del individuo sobre la tierra y la fuerza de reacción del piso (GRF). Contempla la medición de los momentos o torques y potencias articulares internos, el punto de aplicación de la GRF bajo el pie y sus tres componentes: vertical, medio lateral y anteroposterior. Aporta información complementaria a la cinemática al definir las causas que determinan el movimiento articular a lo largo del ciclo de la marcha, es decir, qué grupo muscular es el predominante en cada momento y que tipo de contracción muscular está ejerciendo, excéntrica o de frenado o concéntrica para generación de potencia. Define además la presencia de sobrecargas articulares anormales. Se adquiere a través de plataformas de fuerza empotradas en una plataforma sobre la cual el paciente camina.
- d) Electromiografía dinámica: Es el registro de la actividad muscular "on-off", es decir del momento en que se activan e inactivan los diferentes grupos musculares durante la marcha. Debe ser interpretada en conjunto con los registros cinemáticos y de cinética articular para entender las anomalías neuromusculares del paciente.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema propuesto consistió en una plataforma de fibra de densidad media (MDF), de forma rectangular, de 1m de ancho por 3 m de largo, con una distribución sobre una de sus superficies de cintas metálicas (papel España) paralelas entre sí, perpendiculares al sentido de la marcha, y que están interconectadas eléctricamente mediante una red de resistencias conectadas en serie de 100 Ohms, polarizadas a través de una fuente de baja tensión de continua. Esta técnica permite la presencia de un gradiente de potencial, el cual guarda una relación espacial directa con la posición relativa de cada tira metálica a lo largo de la superficie, sobre la cual se efectúa la marcha. Para realizar la detección de los pasos se empleó un par de calzados económicos al cual se le adhirió a la base de cada uno un par de pequeños detectores circulares metálicos, ubicados en una posición aproximada del 17% y 72% del tamaño del pie, siendo valores porcentuales tomados de Bianco et al [15]. Precisamente de este estudio resultó la gráfica de la Figura 1, donde se pueden apreciar los niveles de máxima presión en la pisada, con los porcentajes mencionados. Ubicando los contactos con esta referencia se determinó el potencial de contacto y como consecuencia, la posición relativa de cada pie o parte del pie, y la distancia entre ambos. Este registro se realizó en tiempo real mediante un sistema de adquisición de datos y se lo

contrastó con los datos simulados por un programa que genera de manera virtual las señales potenciométricas equivalentes a la de la marcha humana. Luego se compararon los parámetros obtenidos por el sistema, con aquellos determinados por el software de simulación, lo cual permitió efectuar la calibración necesaria para alcanzar una mayor precisión.

La metodología empleada, es básicamente una técnica potenciométrica, donde cada tensión se correlaciona con una posición determinada sobre una superficie. Las tiras metálicas de bronce son de 1 cm de ancho y 0,5 mm de espesor y están fijadas a la plancha mediante adhesivo de contacto, siendo la separación entre las mismas de 3 cm. La distribución paralela de las cintas a lo largo de los 3 metros y vinculadas eléctricamente con resistencias de igual valor, permiten tener una diferencia de potencial entre los extremos, y un gradiente de tensión a cada 3 centímetros, lo que determina el error de precisión.

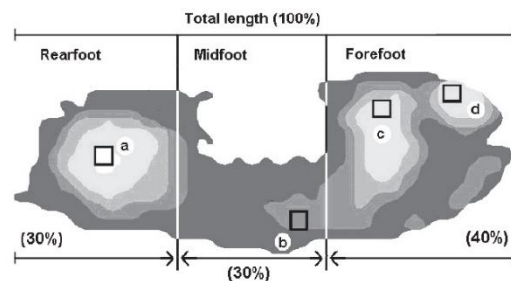


Fig. 1: Imagen ilustrativa que señala las zonas de presión en la pisada según Bianco [15]. Retropie (izq.), medio pie y antepie (der.).

Mediante cables de audio blindados, el potencial registrado por cada uno de los electrodos circulares es enviado a un acondicionador de señal que realiza la tarea de filtrar frecuencias indeseadas por efecto rebote, y adaptar los niveles de tensión para ser enviados a una placa de adquisición. En este caso se utilizó un módulo basado en el microcontrolador ATmega328 de la firma Atmel, por su facilidad de programación, y que se conecta a una PC mediante el puerto USB. Para el procesamiento de los datos (almacenamiento y análisis), se empleó el programa libre SCILAB.

El esquema circuital del prototipo es simple al igual que su funcionamiento. En la Figura 2 se representa el diagrama esquemático del sistema con su interconexión a los demás componentes del sistema.

El potenciómetro representa el contacto dinámico de la marcha sobre la tabla de medición, en conjunto con el interruptor que simboliza uno de los contactos del pie, de tal manera que mientras éste se encuentre elevado durante la prueba, el interruptor permanece abierto y la tensión de entrada al módulo es cero.

La resistencia R y el capacitor C en paralelo actúan como filtro y sirven de referencia a tierra cuando el contacto está abierto. El circuito se completa con un seguidor emisor para obtener baja impedancia de salida y desacoplar la etapa de medición con la de adquisición. Si bien en la Figura 2 se representa un solo canal, el sistema fue implementado con cuatro entradas, para medir dos puntos de contacto por cada pie, tanto para el talón como para la parte de delantera del calzado, que mediante abrojos se adapta fácilmente al tamaño del pie de cualquier persona adulta. Para menores

habría que adaptar uno de menor tamaño, pero no modifica la metodología de la medición.

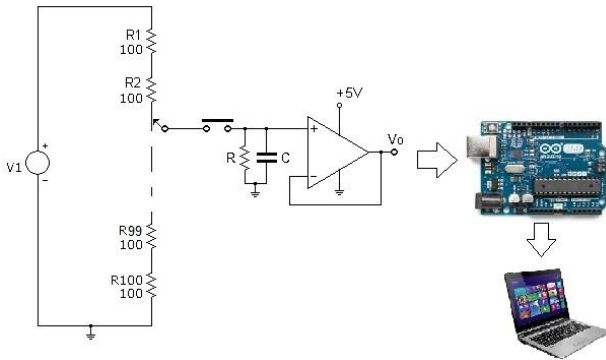


Fig. 2: Diagrama en bloques del sistema.

En la Figura 3 se puede apreciar una fotografía de la planta del calzado, una vista superior de la tabla MDF con las cintas metálicas y el detalle de la conexión de las resistencias de 100 ohm ¼ W.



Fig. 3: Tabla de marcha, detalle de conexión y calzado.

III. RESULTADOS

Se realizaron dos registros de marcha a cada una de las siete personas pertenecientes a nuestro grupo de trabajo, que presentaban diferentes fisonomías. La información obtenida estaba representada en voltios para la amplitud y en segundos para tiempo. Para traducir estos valores a parámetros vinculados a la marcha humana se desarrolló un programa con el software libre “SCILAB” que convierte los valores de las muestras a las magnitudes requeridas. Mediante este programa se cargaron los datos de la secuencia que se deseaba analizar y se realizaron los cálculos con los valores muestreados. De esta manera se obtuvo la longitud del paso dado por cada pie, el tiempo que transcurre entre los mismos, y en base a estos datos previos se obtuvo por cálculo la velocidad de desplazamiento. También se estimaron los valores medios de cada uno de estos parámetros por cada marcha efectuada.

El programa permite registrar los cuatro canales de adquisición y los almacena simultáneamente con los valores del reloj de la PC en un archivo de texto plano tipo txt. De este modo se cuenta con cuatro curvas amplitud-tiempo en voltios por segundo. Dado que la longitud total del tablón es de 300 cm y que se dispusieron 100 contactos interconectados con resistencias del mismo valor, cuyos extremos se alimentan con una tensión de 5 V, el valor de la

diferencia potenciométrica  $V_0$  registrada por cada canal se puede expresar en su equivalente en centímetros como

$$D = \frac{300V_0}{5} \tag{1}$$

En la Figura 4 se muestran los datos de una caminata de ida sobre la plataforma. Solamente se graficó la posición de los talones para no cargar el gráfico.

Estos datos fueron registrados en una planilla de cálculo donde se muestra la información en distintas unidades de medida (cm/s; paso/s; paso/min; etc.), para poder realizar distintos tipos de comparaciones, de forma tal que se puedan extraer conclusiones.

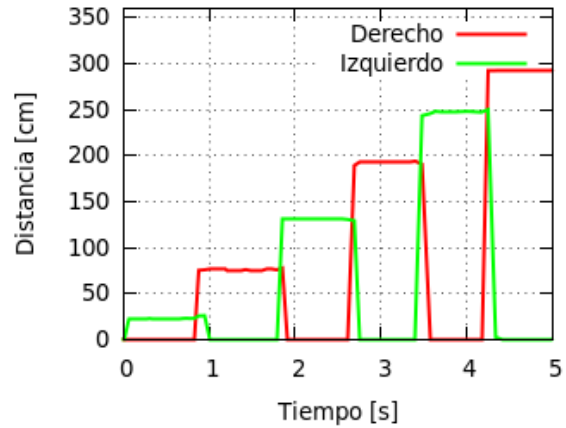


Fig. 4: Registro de caminata (sólo talones).

Para traducir estos valores a parámetros correlacionados a la marcha humana, se desarrolló una aplicación que a partir del archivo de texto realiza el cálculo de la distancia de paso entre una y otra pierna, y los retrasos correspondientes. Así se pudo observar si existen diferencias significativas entre pasos (derecho-izquierdo y viceversa). A modo ilustrativo se muestra en la Figura 5 una gráfica de las distancias de paso de 7 voluntarios. Se puede comprobar que la distancia recorrida por cada pie no es necesariamente igual en ninguno de los sujetos.

Los resultados de los ensayos con el método potenciométrico se presentan en la Tabla 1, donde también se incorporan a modo comparativo, los resultados del estudio realizado por Materon [18] con la técnica de marcación por talco sobre cartulina negra. Con este fin se seleccionaron sujetos de sexo masculino de aproximadamente 1,75 m de altura.

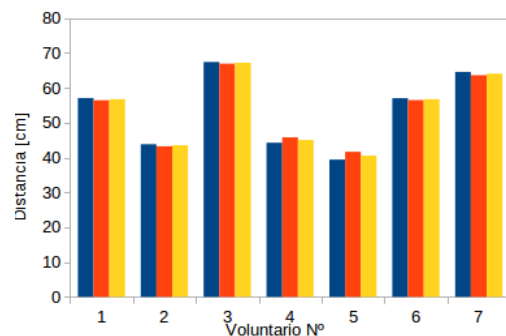


Fig. 5: Distancia de pasos de 7 voluntarios.

En la columna referida al método potenciométrico se incluye la desviación estándar de las medidas obtenidas. Los valores representan la media de dos sujetos de prueba (tres

caminatas de cuatro pasos cada uno), pudiendo observarse la similitud de los datos obtenidos con el método del talco.

TABLA I  
COMPARACIÓN CON EL MÉTODO DEL TALCO.

Parámetro/su jeto	Prueba con talco	Método potenciom.	Desviación estándar
Cadencia [pasos/min]	70	70	6,8
Longitud del paso [cm]	67	65,70	1,8
Velocidad [cm/s]	83	76,30	5,3

#### IV. CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó una metodología para el análisis de algunos parámetros de la marcha humana, en lo que respecta a variables temporales-espaciales. Se utilizaron materiales de uso cotidiano, económicos y de fácil disponibilidad en el mercado local. Se observa en los resultados obtenidos, que los parámetros recolectados para un mismo sujeto en distintos ensayos, se asemejan entre sí, lo cual confirma que el sistema de medición, mediante la técnica potenciométrica presenta un elevado grado de exactitud. Se debe reconocer también que nunca dos ensayos practicados al mismo individuo resultarán exactamente iguales.

Cabe aclarar que las personas que colaboraron con los ensayos lo hicieron bajo consentimiento informado escrito. Las mismas, con diferentes fisonomías, ejecutaron las pruebas sobre la plataforma conforme al protocolo establecido e informado. No obstante, existen otras variables no antropométricas que influyen en los resultados, como ser la dinámica biomecánica con la que cada individuo se desplaza y el efecto psicológico que provoca caminar sobre tiras metálicas. Algunos de los factores que se observaron fueron: fatiga o cansancio, miedo a estropear el sistema, especial cuidado al moverse, etc. Todos éstos desnaturalizan su verdadero desempeño.

Sería conveniente contrastar este método con otro realizado con otra tecnología para poder evaluar su funcionamiento. Aun así, dada la simpleza del procedimiento, se considera a este método confiable y que satisfizo las verificó los objetivos inicialmente propuestos. Actualmente se está comparando con un sistema que emplea una cámara "Kinect" para realizar el registro de los parámetros de la marcha y otro método basado en acelerómetros y giróscopos.

#### V. REFERENCIAS

- [1] Alexandra Vieira; Heloísa Sobral. Software for human gait analysis and classification. 2015 IEEE 4th Portuguese Meeting on Bioengineering (ENBENG).
- [2] Ounpuu, S., Gage, R., Davis, R.. Three-dimensional lower extremity joint Kinetics in normal pediatric gait. *J. Pediat. Orthop*, 11:341-349, 1991.
- [3] Yack, J.H., and Winter, D. Economy of two joint muscles. *Proceedings of the Fifth Biennial Conference of the Canadian Society for Biomechanics*, Ottawa, Canada, Aug 27 - 25, 1988.
- [4] Schneck C. Normal and abnormal gait. *Ninth Annual Review Course in Physical Medicine and Rehabilitation*, 1997, March 7.
- [5] Rose J., Gamble J.G., Burgos A., Medeiros J., Haskell W.L. Energy expenditure index of activity for normal children and for children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 1990; 32:333-340.
- [6] Lehmann J.F., de Lateur B.J., Price R. Biomechanics of normal gait. *Phys Med Rehabil Clin North Am* 1992; 3:95-109.
- [7] Passmore R., Durning J.V.G.A. Human energy expenditure. *Physiol Rev* 1955; 35:801.
- [8] Saunders J.B., Inman V.T., Eberhart H.D. The major determinants in normal and pathological gait. *J Bone Joint Surg* 1953; 35A:543.
- [9] Heloisa Sobral, Alexandra Vieira Human gait analysis using instrumented shoes. 2015 IEEE 4th Portuguese Meeting on Bioengineering (ENBENG).
- [10] Adriana Villa Moreno, Eduardo Gutiérrez, Juan Carlos Pérez Moreno. Consideraciones para el análisis de la marcha humana. *Técnicas de videogrametría, electromiografía y dinamometría*.
- [11] Meng Chen , Jingyu Yan . Gait pattern classification with integrated shoes. 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems.
- [12] Tsao Ying-Fang Liu Wen-Te Chiu Ching-Te Human gait analysis by body segmentation and center of gravity. *Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA)*. pp. 1-5, 2013.
- [13] S. Shahid A. Nandy S. Mondal M. Ahamad P. Chakraborty G.C. Nandi A study on human gait analysis. *Proceedings of the Second International Conference on Computational Science Eng. and Information Technology ACM*. Pp 358-364 2012.
- [14] A. Nandy S. Bhowmick P. Chakraborty G.C. Nandi. A Sensor-Based Technique for Speed Invariant Human Gait Classification in Intelligent Computing Networking and Informatics. Springer. pp. 549-556 2014.
- [15] Bianco, R., da Silva Azevedo, A. P., Fraga, C. H. W., Acquesta, F. M., Mochizuki, L., Amadio, A. C., & Serrão, J. C. (2011). A influência do uso acumulado de calçados de corrida sobre a força de reação do solo e as respostas de pressão plantar. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*, 25(4), 583-591.
- [16] [http://www.clinicascalcondes.cl/Dev\\_CLC/media/Imágenes/PDF%20Revista%20m%C3%A9dica/2014%20marzo/7-Dra.Har.pdf](http://www.clinicascalcondes.cl/Dev_CLC/media/Imágenes/PDF%20Revista%20m%C3%A9dica/2014%20marzo/7-Dra.Har.pdf) [fecha acceso nov-2015].
- [17] <http://www.efn.uncor.edu/escuerlas/biomedica/Plandeestudios/materias%20completas/Ingenieria%20en%20rehabilitacion/Clases/18aI LaboratoriodeMarcha.pdf> [fecha acceso oct-2014].
- [18] <http://www.efisioterapia.net/articulos/analisis-comparativo-la-cinemática-hombre-y-la-mujer> [fecha acceso nov-2016].