



Sistemas De Captura y Análisis De Datos De La Marcha.

Alfonso R. Herrera^{1*}, Antonio. Sánchez Uresti¹,

¹ Centro de ingeniería biomédica, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México

* reneherrher@gmail.com.com

Resumen— Al conocer los movimientos y patrones del ciclo de marcha, se puede identificar lo que no es fisiológicamente normal en ella. El estudio de la marcha nos permite observar probables lesiones músculo-esqueléticas y neurológicas de un paciente a lo que se le conoce como marcha patológica. Para poder tratar de recuperar movimientos motores y tratar las lesiones, se diseñará un sistema que recopile datos a una alta velocidad. Los sistemas de visión utilizan elementos como cámaras y sensores para adquirir y procesar la información de manera precisa, esto nos da la oportunidad de utilizar la información y realizar diversos análisis. En esta investigación se utilizará un programa diseñado en Python y OpenCV para realizar la detección de ángulos en el plano sagital utilizando cámaras y marcadores infrarrojos en los elementos articulares de la marcha y así analizar los ángulos de cada fase del ciclo.

Palabras clave— **marcha, OpenCV, patológica, Python, sistema, visión.**

1. INTRODUCCIÓN

La marcha es un proceso en el cual el cuerpo humano en posición erguida, se desplaza siendo su peso soportado por ambas piernas alternativamente, esto es que mientras el cuerpo es apoyado por una pierna el otro miembro se encuentra realizando una oscilación para prepararse a recibir la carga y así continuar con el ciclo.

La marcha es un proceso aprendido y no un reflejo innato. Cada persona muestra en su desarrollo unas características propias que están determinadas por diversos factores como las diferencias existentes en la masa y longitud de los distintos segmentos corporales [1]. En la marcha de un paciente se puede identificar el resultado de marchas patológicas presentes debido a que el cuerpo trata de compensar o corregir estas anomalías.

2. Marcha Humana

La marcha o locomoción humana se conoce como “una serie de movimientos alternantes, rítmicos de las extremidades y del tronco, que determinan un desplazamiento hacia delante del centro de gravedad” [2]. El conocimiento sobre la marcha normal que conocemos, permite tener una comprensión más específica para el tratamiento de marchas

patológicas. Aunque existen diferencias entre la ejecución individual de cada persona, se puede describir un ciclo general que comienza con el contacto del pie al suelo y termina con el siguiente contacto de estos.

2.1. Fases de la marcha

Para su mejor comprensión y análisis, se puede desglosar la marcha en fases individuales: la fase de apoyo y la fase de balanceo. La fase de apoyo comprende un 60% del ciclo; mientras que la fase de balanceo, cumple con el 40% restante. Dentro del ciclo también existe el doble apoyo que comprende el 20 % del ciclo (Fig.1).

La marcha comienza con un doble apoyo para pasar a la fase de apoyo o balanceo dependiendo del punto a estudiar. El ciclo se puede subdividir en 8 fases (Fig.2).

Las fases de apoyo se subdividen en 5 fases:

- Contacto de talón: El instante en el que el talón toca el suelo.
- Apoyo plantar: contacto de la parte anterior del pie con el suelo.
- Apoyo medio: Es el momento en el que el trocánter mayor se alinea verticalmente con el centro del pie (visto desde el plano sagital) [3].
- Elevación de talón: cuando el talón se eleva del suelo.
- Despegue del pie: Momento en el que los dedos se despegan del suelo.

La fase de balanceo se divide en 3 sub-fases:

- Aceleración: Momento característico debido a su aceleración de la pierna que surge después de la fase del despegue de pie.
- Balanceo Medio: cuando la pierna en balanceo rebasa a la pierna de apoyo.
- Desaceleración: característica que realiza la pierna al fin del ciclo, para dar comienzo nuevamente.

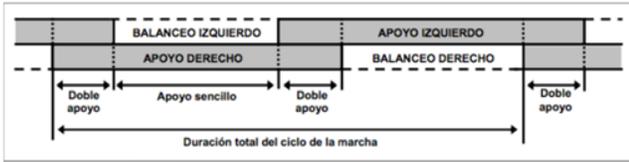


Fig. 1. Fases de la marcha [4].

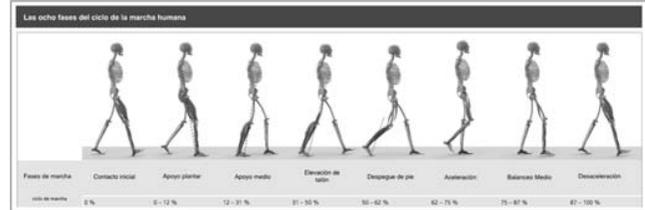


Fig. 2. División de fases de marcha [6].

3. Marchas patológicas

Se conoce como marcha normal a la representación rítmica y coordinada de movimientos que se presentan en la cintura pélvica y extremidades inferiores. Si se presentará algún proceso neurológico que modifique estas características en los elementos de movimiento ya sea daño muscular, óseo, etc. esto generaría una marcha característica o particular también conocida como marcha patológica.

3.1 Causas de las marchas patológicas.

Las marchas patológicas se pueden agrupar en 3 marchas generales:

- Anormalidades frecuentes: Dentro de esto se encuentra el acortamiento de extremidades inferiores, limitación de amplitud articular e inestabilidad articular.
- Déficit neurológico de origen central: esto es cuando se encuentra algún problema en el sistema neurológico como la ataxia, Parkinson, etc.
- Lesiones neurológicas periféricas: parálisis de extensores de cadera, de glúteo medio, de cuádriceps, isquiotibiales, flexores dorsales del pie o del tríceps sural.

3.2 Tipos de marchas patológicas.

3.2.1 Marcha atáxica

El termino ataxia se refiere a un trastorno caracterizado por una anormal organización y modulación de movimiento. Esto es el síndrome de incoordinación causado por las afectaciones del cerebelo y de sus conexiones aferentes y eferentes. Esta denominación también se utiliza en enfermedades específicas del sistema nervioso central en las cuales la ataxia progresiva consiste en la manifestación clínica principal [5].

3.2.2 Marcha parkinsoniana

Este movimiento es producto de un desorden degenerativo del sistema nervioso central, caracterizado principalmente por rigidez en los músculos, temblor evidente y movimientos lentos de cada uno de los segmentos corporales. Durante la marcha los pacientes se inclinan hacia adelante, el inicio de la marcha es lento, la longitud de paso es pequeña y frecuentemente se arrastran los pies [7].

3.2.3 Marcha de stepage.

Cuando son los músculos distales los afectados, la pierna se flexiona y eleva para evitar que la punta del pie arrastre y tropiece en el suelo. Y el apoyo no se realiza con el talón sino con la punta o la planta del pie. Se produce por lesión del nervio periférico que causa una dificultad o imposibilidad para la extensión del pie [8].

4. Metodología y Sistema de visión.

Para obtener la captura de datos, así como su análisis, se diseñó un programa en Python versión 3.6.5 en conjunto con la librería de OpenCV versión 3.3.1 para el procesamiento de datos.

Se utilizó una cámara web posicionada a 1.21 metros del paciente y a una altura de 0.68 metros, dando una distancia de trayectoria de 2.43 metros en el plano sagital (fig.3).

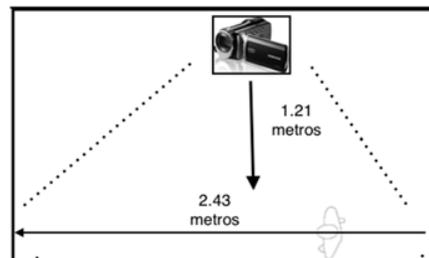


Fig. 3. Posición de cámara

Para la detección de los ángulos articulares se utilizaron marcadores de LED IR, así como una cámara web modificada para poder realizar la detección. La cámara que se utilizó es una webcam Logitech 170 a la cual se le retiró el filtro que bloquea la luz IR y se agregó película fotográfica (ISO 200/24° in C-41 Process) frente al lente como filtro para reducir los elementos luminosos no deseados.

Los ángulos que se analizaron fueron:

- β que representa el ángulo de cadera-rodilla.
- α que representa el ángulo de rodilla-tobillo.
- δ que representa el ángulo de tobillo-pie.

Se utilizaron ecuaciones trigonométricas en base a la posición registrada entre los puntos focales establecidos.

Para β se utilizó un arco tangente entre los puntos identificados en el programa "(1)".

$$\tan^{-1} \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \quad (1)$$

Para los ángulos α y δ debido a su modificación en cuanto a su relación de vértices en cada fase, se utilizó la ecuación de distancias "(2)" en conjunto con la ley de cosenos "(3)", "(4)" de sus respectivos puntos.

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (2)$$

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha \quad (3)$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \right] \quad (4)$$

4.1 Prueba de programa

La prueba se realizó a 7 pacientes en rangos de diferentes edades como se muestra en la tabla 1.

TABLA 1
Sujetos de prueba.

	Edad	Altura	Sexo
Paciente 1	4 años	1.16 metros	Femenino
Paciente 2	5 años	1.06 metros	Femenino
Paciente 3	23 años	1.58 metros	Femenino
Paciente 4	24 años	1.62 metros	Masculino
Paciente 5	46 años	1.62 metros	Femenino
Paciente 6	56 años	1.57 metros	Femenino
Paciente 7	63 años	1.68 metros	Masculino

Para una mejor captura de datos y facilidad de análisis, el programa trabaja con un ángulo inicial base para usarlos

como referencia y así tener valores de flexión o extensión como se muestra en la fig.4. Para la cadera se encuentra en base a 0°, para la rodilla trabaja a base 180° y para el tobillo trabaja en base a 90°, más 50° generados por la posición de los sensores de pie y tobillo.

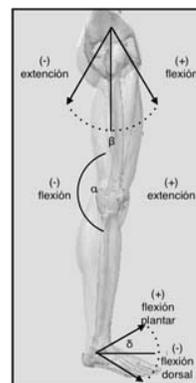


Fig. 4. Flexión y extensión de articulaciones.

5. Resultados de pruebas

De los pacientes a los que se les realizó la prueba, en los resultados se pudo apreciar la diversidad de marchas generadas. Esto es debido a que la marcha es un proceso aprendido y no innato. Factores como las diferencias de masas y longitud de miembros pueden generar pequeñas alteraciones que personalizan los movimientos de cada individuo.

Al comparar los datos contra lo que se considera una marcha estándar se pueden identificar en las gráficas que, a pesar de las pequeñas alteraciones individuales, los pacientes no presentan marchas patológicas. En la Fig.5 todos los pacientes siguieron el patrón de una marcha normal (gráfico en color negro). El paciente 3 en la fase de despegue de pie (62%) presentó una diferencia de 21° que fue el único resultado más alejado en esa articulación seguido por el paciente 1.

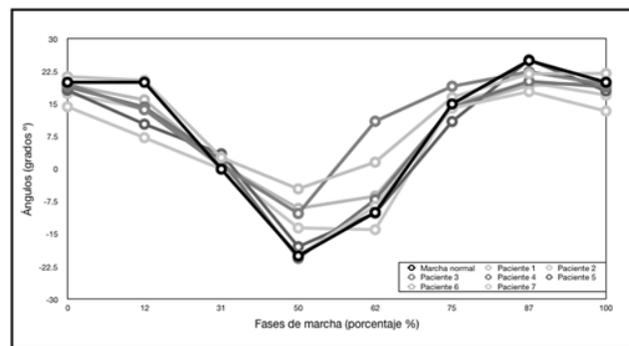


Fig. 5. Ángulos de cadera por fase de marcha.

En la Fig. 6 que muestra los resultados de la prueba en la rodilla, se puede apreciar que los pacientes 1 y 4 fueron quienes se distanciaron en toda la trayectoria y el paciente 3 presentó un pico más alto en la misma fase que con la cadera (62% de fase).

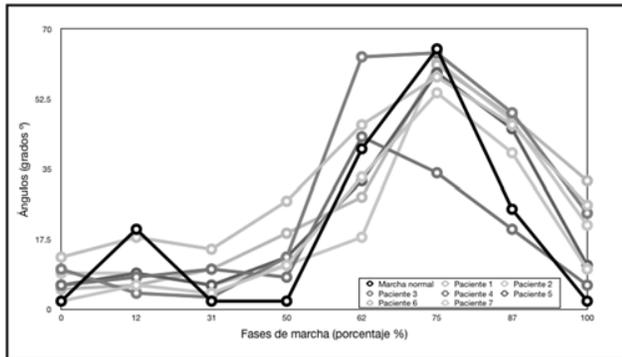


Fig. 6. Ángulos de rodilla por fase de marcha.

En la Fig. 7 se tienen los resultados de la prueba en el tobillo. Aquí se puede observar que todos los pacientes se mantuvieron dentro del rango de una marcha estándar con el paciente 1 y 3 presentando los máximos y mínimos en este movimiento en las fases de elevación de talón (50%) y despegue de pie (62%) respectivamente.

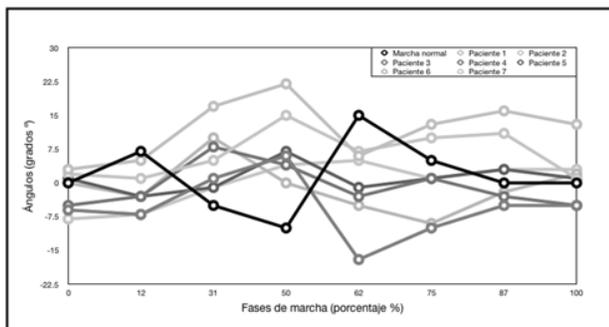


Fig. 7. Ángulos de tobillo por fase de marcha.

6. Conclusiones

Los sistemas de visión son una rama de la computación que tiene mucha funcionalidad en diversos estudios. Utilizando estas herramientas se obtuvieron resultados positivos en un entorno bidimensional. El costo del proyecto se mantuvo por debajo de los \$1500.00 pesos con el objetivo de poder realizar un programa que pudiera afinarse y trabajara mejor con sensores más sofisticados. Este proyecto puede evolucionar a un sistema multi cámara con visión frontal y superior para obtener un análisis de múltiples puntos y así mejorar el estudio de trastornos de movilidad.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Vázquez, S. C. (2002). *Análisis de la marcha humana con plataformas dinamométricas. Influencia del transporte de carga*. Retrieved from <http://eprints.ucm.es/4401/1/med3.pdf>
- [2]. SAUCEDO ROMERO, M. A. (2009). *TESIS*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO. Retrieved from <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1511/Tesis.pdf?sequence=1>
- [3]. Osorio, J. H., & Mauricio, H. V. (2013). Bases para el entendimiento del proceso de la marcha humana. *Archivos de Medicina*, 88–97.
- [4]. Rey, S. (2010). Estudio biomecánico de la marcha en mujeres jóvenes. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/30043678.pdf>
- [5]. Woehrlen, M. C. B., Ibarra, S. N. R., Ochoa, A., Ruano, L. M., & Ortiz, U. R. (2016). Taxonomy of ataxias. Algorithm of the lack of rhythm. *Archivos de Neurociencias*, 21(3), 6–13.
- [6]. streifeneder. (n.d.). Las ocho fases de la marcha humana, 3. Retrieved from https://www.streifeneder.es/downloads/o.p./400w43_s_poster_gangphasen_druck.pdf
- [7]. Cifuentes, C., Martínez, F., & Romero, E. (2010). Análisis teórico y computacional de la marcha normal y patológica: una revisión. *Revista Med*, 18(2), 182. <https://doi.org/10.18359/rmed.1311>
- [8]. Covisa, J. (n.d.). Alteraciones de la marcha. *Jmunozy.Org*, 154–158. Retrieved from http://www.jmunozy.org/files/9/Necesidades_Educativas_Especificas/evaluacion_diagnostico/recursos_aula/alteraciones_de_la_marcha.pdf