



## Sistema de monitoreo de tobillo en Marcha por técnicas de visión por computadora.

☐<sup>1</sup>Paola Castillo Irene  
☐<sup>1</sup>Juan Diego Mendoza Gámez, ☐<sup>1</sup>Carlos Lino Ramírez  
☐<sup>1</sup>Angélica María Ortiz Gaucín, ☐<sup>1</sup>José Gerardo Carpio Flores  
☐<sup>1</sup>David Asael Gutiérrez Hernández  
1. Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de León.

### Resumen

El análisis del movimiento y de la marcha humana, ha interesado desde tiempos remotos, llevando al desarrollo de distintos métodos para su estudio.

Una gran parte de la población tiene problemas para caminar, debido a esto, se les dificulta trasladarse de un lugar a otro. La mayoría de estos casos son tratables en un 95% puesto que, si se detecta en una etapa temprana, el paciente se somete a un tratamiento de terapia, medicamento o en caso extremo una operación [2].

Este trabajo propone la creación de un sistema integral que, basado en hardware y software, permita evaluar la marcha utilizando marcadores de colores elaborados con un material blando y aceptable al contorno del tobillo, colocados acorde al protocolo Davis[4], que serán detectados por medio de técnicas de visión por computadora y algoritmos de inteligencia artificial, una vez detectados se utiliza una técnica de seguimiento y de acuerdo a los resultados detectar el ciclo de la marcha, obteniendo los parámetros tales como el porcentaje de fase de apoyo y balanceo, el tiempo de ambas fases, ángulo de flexo extensión de tobillo, tiempo de zancada izquierda-derecha.



Se presentan graficas para un mejor entendimiento de los parámetros y eventos.

Palabras clave: **Análisis, ciclo, comparación, Marcha humana, Visión por computadora.**

## **Introducción**

La capacidad de locomoción en bípedo es característica de los seres humanos, distinguiéndonos del resto de los seres vivos. La deambulación en dos pies libera nuestras extremidades superiores y nos permite realizar otras actividades de la vida diaria e interactuar con el medio que nos rodea.

La evaluación del sistema consiste en un procedimiento que sigue para el correcto desarrollo de las pruebas de valuación teniendo en cuenta el posicionamiento de los marcadores sobre el sujeto, así como la realización de la adquisición y el análisis de los datos. El posicionamiento de los marcadores que se empleo es una modificación del protocolo Davis para la ubicación de los mismos. Dicho protocolo especifica que los marcadores deben colocarse sobre prominencias óseas como el maléolo lateral o la cabeza del quinto metatarsiano. El posicionamiento de los marcadores es de vital importancia ya que al no ser colocados de manera adecuada las mediciones serán erróneas, esta fase puede ser una fuente considerable de error.

En esta ocasión analizaremos la marcha de las personas con algún problema para caminar, con ayuda de una caminadora (banda sin fin) modulando la velocidad de acuerdo al sujeto de prueba que debe utilizar como vestimenta una licra color negra y realizar el experimento sin calzado, con una inclinación de 0 grados, con dos cámaras (las dos laterales) alineadas para cubrir el plano sagital derecho e izquierdo.

Primeramente, se recopilará información con médicos especialistas en el área. Para generar una base de datos y realizar clasificación de acuerdo a los padecimientos de las personas.

Se utilizarán marcadores de distintos colores, en áreas tales como tobillo, talón y quinto metatarso. Dichos marcadores nos ayudan para identificar el



movimiento o comportamiento de la marcha, esto se hará posible usando técnicas de visión por computadora para identificar y seguir los colores para posteriormente generar señales de acuerdo al movimiento (ver Figura 1).



*Figura 1 Colocación de los marcadores para obtener ángulo de flexo extensión del tobillo*

A partir de las coordenadas obtenidas por los marcadores se calculan los ángulos de flexo extensión de tobillo por medio de un procesamiento basado en trigonometría. Posteriormente, se realiza partición de ciclos. Este procedimiento se basa en la adquisición de máximos y mínimos en el eje x del marcador colocado en el quinto metatarso, con respecto al eje x del marcador colocado en el tobillo, una vez obtenido estos valores se realiza la división del ciclo en fases. Finalmente, se realiza el proceso de interpolar para la obtención de los puntos necesarios para el ciclo de marcha y normalizar las curvas en un estándar de 0-100%. Con esta información se grafican los N ciclos mejor detectados, para finalmente extraer un ciclo promedio de toda la prueba. La evaluación que se hará es para distinguir entre una marcha normal y una marcha patológica para concluir con un análisis clínico del diagnóstico y del protocolo.

## Objetivos

Desarrollar un sistema que permita capturar y analizar señales digitales provenientes de la marcha humana para capturar sus parámetros más importantes, por medio de técnicas de visión por computadora.

## Objetivos Específicos

- Implementar un sistema basado en Python para detectar marcadores



utilizando cámaras web convencionales.

- Diseñar una base de datos SQL Server descriptores de la marcha para su análisis y comparación.
- Implementar técnicas de visión por computadora para la detección y seguimiento de los indicadores del paciente.
- Implementar algoritmos de clasificación para el reconocimiento de patrones de acuerdo con los parámetros de la marcha.

### **Justificación**

En la industria médica, los desarrollos tecnológicos de alto impacto y de soluciones específicas están teniendo un crecimiento potencial. El analizar eventos relacionados con la marcha humana permite caracterizar patologías por métodos no invasivos, es decir, que no generan o producen dolor alguno, que no requieren de químicos o suministros para el estudio y que pueden ser repetitivos y ofrecer una interpretación con el beneficio del aprendizaje evolutivo.

Además de un costo más bajo en material para aplicar las pruebas, esto es de interés en el sector salud privado y atletas, ya que brindarían la posibilidad de prediagnosticar a un paciente en las mismas instalaciones, nivel consultorio, del especialista involucrado, tal es el caso de la empresa Foot & Walking medical care, quien presenta un interés particular en el proyecto ya que cuentan con la capacidad instalada para salvamento de extremidades y corrección de extremidades, en base a medicina basada en evidencias. Este proyecto complementaría en un futuro su quehacer diario.

### **Metodología**

Diseño de base de datos y adquisición.

- Diseñar y estructurar la base de datos para la implementación en la adquisición de los parámetros de los sujetos de prueba para su posterior comparación.



### Desarrollo de software.

- Desarrollar un sistema en Python para la detección de colores por medio de videogrametría para evaluar el comportamiento de la marcha en tiempo real, esto a través de la agrupación y clasificación de las señales establecidas por los indicadores de distintos colores y atendiendo a las necesidades del Grupo Interdisciplinario de Investigación Aplicada para el diseño.
- Se utilizará de la metodología ágil SCRUM en la gestión y control del proceso de la elaboración del software (ver Figura 2).

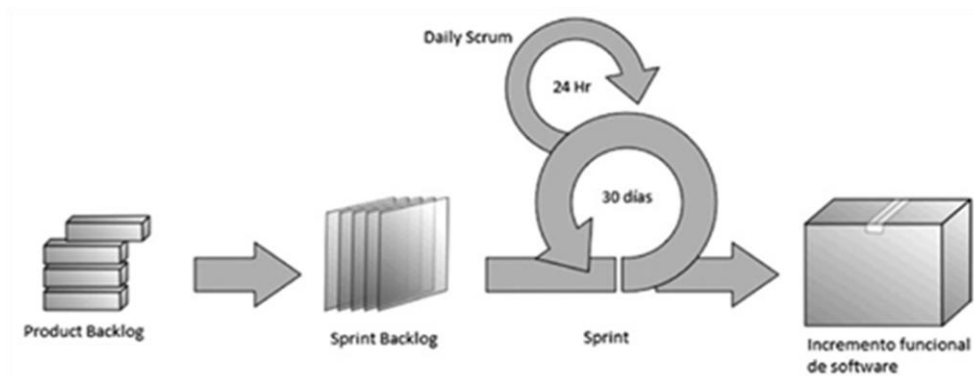


Figura 2 Metodología Scrum: Fases de un Sprint (Navarro, Fernández, & Morales, 2013)

### Colocar indicadores.

- Preparar al paciente colocando marcadores en tobillo, talón y quinto metatarso.
- Cada área será distinguida con un color de marcador.

### Iniciar caminata de prueba.

- El paciente iniciará el proceso en la caminadora por un tiempo de 2 a 5 minutos para establecer confianza.

### Adquisición de datos.

- Se inicia con la grabación de la marcha mediante las dos cámaras.
- El sistema inicia a tomar los datos para clasificarlos y mostrarlos en forma de gráficas.



Resultado.

- Fin del proceso con la evaluación del sistema que arroja el prediagnóstico del paciente con el estado del mismo.

## Resultados

Para comprobar la efectividad del algoritmo se realizaron pruebas con sujetos sanos para determinar la segmentación del ciclo de marcha y los parámetros temporales para determinar un diagnóstico, otros parámetros no son tomados en cuenta para este estudio, ya que las pruebas son realizadas en una caminadora; por tal motivo la velocidad y distancia está controlada por el usuario. En la figura 3 se muestra los registros mínimo y máximo con respecto al eje X y del eje Y del tobillo izquierdo, obteniendo una comparación de ambos ejes con respecto a la fase de apoyo y balanceo y el fin de un ciclo.

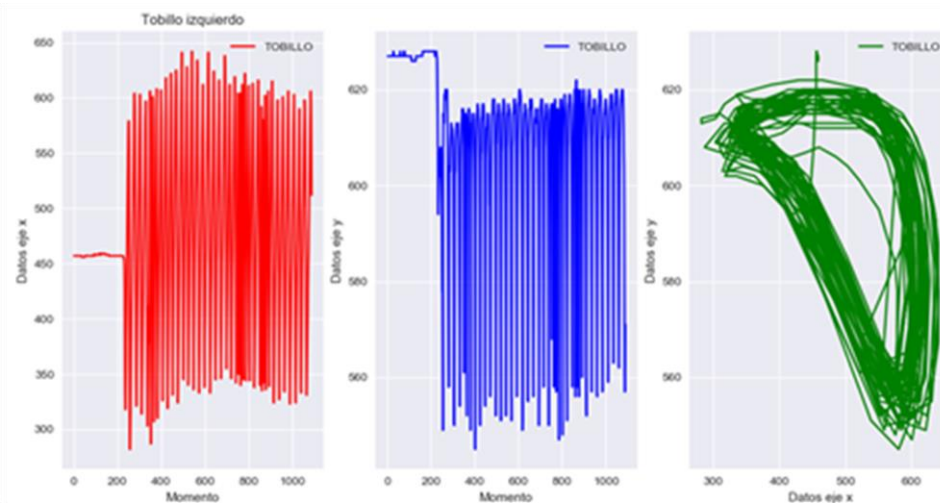


Figura 3 Gráfica de mínimo y máximo con respecto al eje X y el eje Y del tobillo izquierdo

Teniendo los datos anteriores se inicia la segmentación, ya que se tiene el punto de inicio del ciclo como el punto donde termina e inician las fases y el punto de terminación del ciclo. Como resultado se tiene el recorrido de las coordenadas por ciclo. Al realizar la segmentación de los ciclos de toda la prueba, se determinan los 9 mejores ciclos, los cuales son graficados resaltando cada uno de ellos en dicho gráfico como se muestra en la figura

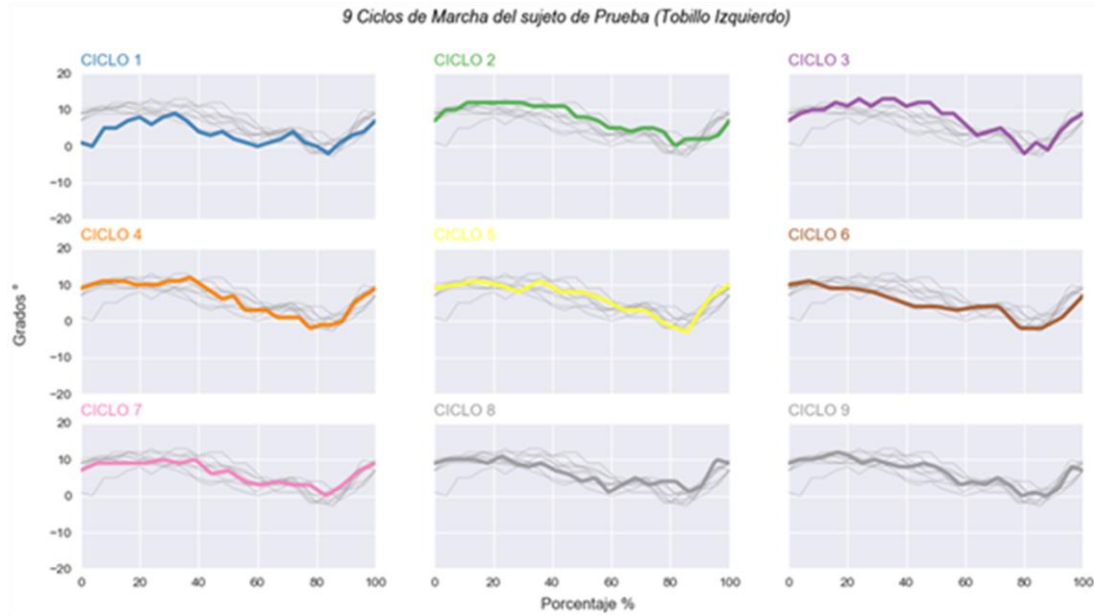


Figura 4 Gráfica de los 9 mejores ciclos representados

Finalmente se obtiene un ciclo promedio de la marcha, de igual manera se muestra en una gráfica, en ésta se aprecia la segmentación de las fases de la marcha y la relación de actividad en las fases de apoyo que aproximadamente es del 60% contra un 40% de la fase de balanceo, así mismo se distingue los grados de flexo extensión en cada porcentaje del ciclo (ver Figura 5).

Adicionalmente en la figura 6 se muestra los parámetros del ciclo promedio comparados con parámetros con parámetros de referencia tomada de [3]. Da como resultado un integro análisis de la marcha.

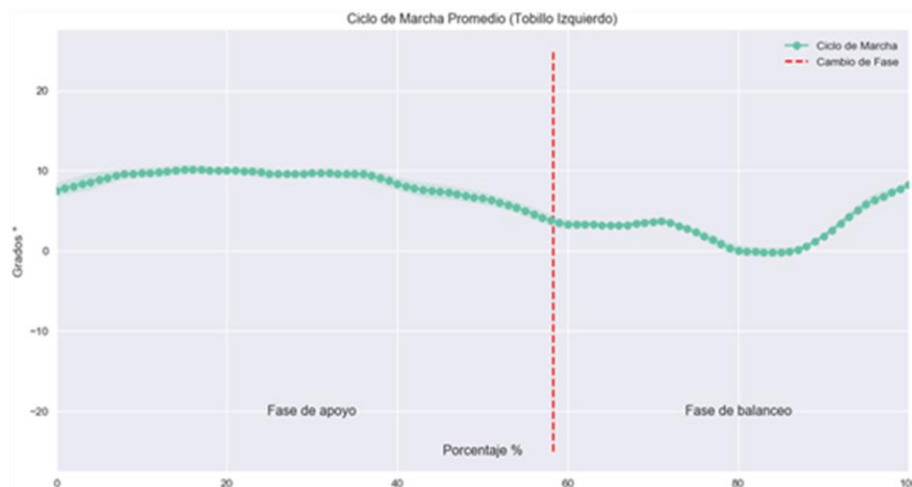


Figura 5 Gráfica promedio del ciclo de la marcha del tobillo



PARAMETROS	TOBILLO IZQUIERDO	TOBILLO DERECHO	VALORES DE REFERENCIA
Fase de apoyo (%)	58.283	59.149	60 ± 2
Fase de balanceo (%)	41.717	40.851	40 ± 2
Tiempo de apoyo (s)	2.159	2.22	1.8 ± 0.2
Tiempo de balanceo (s)	1.543	1.543	1.2 ± 0.2
Flexo Min Tobillo (<)	-2.0	-17.1	13 ± 2
Flexo Max Tobillo (<)	11.2	-12.3	-20 ± 2

Figura 6 Parámetros de ambos tobillos comparados con valores de referencia

## Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos con el sistema de análisis de marcha se logró detectar el ciclo de la marcha a partir de un sistema de cámaras RGB y un set de marcadores pasivos. Se obtuvieron parámetros temporales, tales como porcentaje y tiempo de las fases de apoyo y balanceo, así como los parámetros cinemáticos entre los cuales destacan, los grados de flexo extensión de tobillo, tiempo de cada zancada izquierda-derecha y la obtención de la cadencia.

Con esta información se podrá evaluar, en un trabajo a futuro, la diferencia entre la marcha normal y una patológica, dando así una herramienta digital para toma de decisiones a los especialistas y que de esa forma puedan ofrecer una rehabilitación más adecuada de acuerdo con los resultados obtenidos del paciente.

## Referencias

- [1]Camara, J. (2011). Análisis de la marcha: sus fases y variables espaciotemporales. *Fisiología del ejercicio*, 160-173.
- [2]Cifuentes, C. M. (2010). ANÁLISIS TEÓRICO Y COMPUTACIONAL DE LA MARCHA NORMAL Y PATOLÓGICA: UNA REVISIÓN. *Revista Med*, 182-196.
- [3]Hernández H. K., Carmona M. D., Ramírez R. R., Velázquez J., Morales A. y Vega González A., «*Cinemática de la Marcha en Adultos Jóvenes con Peso Normal, Sobrepeso y Obesidad*,» Memorias del XLI Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica, pp. 366-3699, 2018.
- [4]Mariño, S. I., & Alfonzo, P. (diciembre de 2014). Implementación de SCRUM en el diseño del proyecto del Trabajo Final de Aplicación. *Scientia Et Technica*, 19(4), 413-418.
- [5]Navarro Cadavid, A., Fernández Martínez, J. D., & Morales Vélez, J. (julio-diciembre, 2013). Revisión de metodologías ágiles para el desarrollo de software. *PROSPECTIVA*, 30-39.
- [6]Villa Moreno, A. G. (2008). Consideraciones para el análisis de la marcha humana. Técnicas de videogrametría, electromiografía y dinamometría. *Revista Ingeniería Biomédica*, 16-26.