

POSICIÓN DE ARTICULACIONES DURANTE LA MARCHA UTILIZANDO KINECT V2 Y LABVIEW

JOINT'S POSITIONS DURING THE GAIT ANALYSIS WITH KINECT V2 AND LABVIEW

Jesús Alfonso García Canteros

Universidad Tecnológica de la Mixtec, México
jesusgarciacaneros@gs.utm.mx

Esther Lugo González

Universidad Tecnológica de la Mixteca, México
elugog@mixteco.utm.mx

José Anibal Arias Aguilar

Universidad Tecnológica de la Mixteca, México
anibal@mixteco.utm.mx

Recepción: 25/septiembre/2023

Aceptación: 13/junio/2024

Resumen

En este artículo se obtienen las posiciones de las articulaciones de un usuario durante la marcha utilizando la cámara Kinect v2™, así como el programa LabVIEW™ para tener una interfaz intuitiva. Se utilizó la cámara Kinect v2™ para obtener las imágenes y los ángulos de movimiento de cada articulación y el programa LabVIEW™ para desarrollar una interfaz y manipular la base de datos. Se implementó la metodología MelSE para la obtención de las posiciones en el análisis de marcha. Se realizaron pruebas a 16 personas obteniendo sus ángulos de flexión/extensión y abducción/aducción con el Kinect v2™ y los resultados se compararon con los cálculos realizados y validados con el goniómetro, obteniéndose un error del 2 %. Este trabajo permite demostrar la factibilidad de uso de estas herramientas de acceso práctico.

Palabras Clave: Cinemática, Goniómetro, Interfaz, Kinect v2, LabVIEW.

Abstract

This article explains the obtention of the joints of the user during the gait analysis, the Kinect v2™ as a tool and the program LabVIEW™ allows us to create a graphical

interface. With obtention of images, the camera Kinect V2™ gets the movement and angles in the lower part of the body, LabVIEW™ helps to create the graphical interface and a manipulation of a database. The MeISE methodology was used to create the graphical interface for gait analysis. Sixteen people were test subjects, obtaining their angles of flexion/extension and abduction/adduction with the camera Kinect v2™, these results were compared and validated with the goniometer, it shows the obtention and calculation of the angles with Kinect v2™ has an error of 2 %. This is not a problem for a basic walk analysis, but it does demonstrate the feasibility of using these practical access tools.

Keywords: *Goniometer, Interface, Kinematics, Kinect v2, LabVIEW.*

1. Introducción

En la actualidad, los métodos más comunes para la captura del movimiento humano en tres dimensiones requieren de un entorno de laboratorio y la fijación de marcadores, accesorios o sensores a los segmentos corporales. Entre los sistemas comerciales de precisión que utiliza marcadores esta Vicon™ [Bravo, 2016] y son de los más utilizados en laboratorios de biomecánica [Ivancevic, 2008]. Estos dispositivos también se pueden clasificar como sistemas ópticos sin marcadores y con marcadores, y a su vez se dividen en activos y pasivos. En los sistemas ópticos con marcadores pasivos como Vicon™, se colocan en el sujeto marcadores reflectantes en todos los puntos de interés de captura de movimiento, a diferencia de los sistemas ópticos activos como Optotrack™, donde se colocan marcadores activos (diodos emisores de luz LED). Entre los sistemas de captura de movimiento sin marcadores, están las cámaras Kinect™ y Organic Motion™, [Mutto, 2012].

El Kinect™ realiza la verificación de las posiciones con el sensor de profundidad y visión por computadora con su cámara, lo que permite asociar rápidamente formas tridimensionales y posición de articulaciones. Los datos de Kinect™ se refieren a los ángulos de las articulaciones cuando se trata del movimiento de las extremidades inferiores [Nambiar, 2012]. En [Galna, 2014] se utilizó el Kinect™ para identificar la marcha y el reconocimiento antropométrico sobre un conjunto de datos compuesto por características extraídas de un Kinect™ sensor, teniendo en cuenta

los diferentes tamaños y número de grupos. Este conjunto de datos utilizó caminatas de cadencia libre, eliminando la interferencia y la artificialidad introducidas por el uso de cintas de correr.

En [Laurene, 2022] se presenta un estudio que se centra en los huesos y articulaciones basados en la orientación de las articulaciones del esqueleto de Kinect™. El sistema está destinado a la identificación de personas, permite reconocer e identificar patrones de movimiento. Se trata de una biometría dirigida esencialmente a reconocer a las personas por su forma de caminar. La ventaja de este sistema es que puede detectar en la oscuridad.

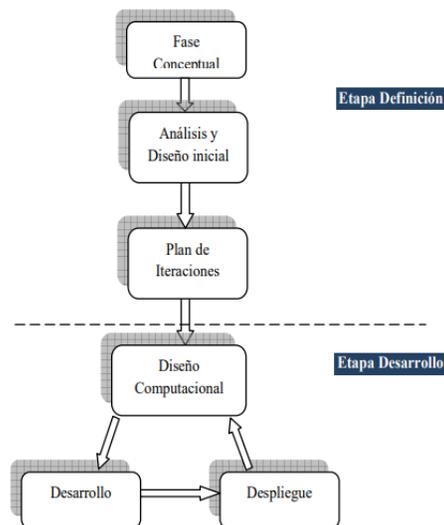
En [Yennam, 2016] se obtienen los ángulos relativos de las articulaciones cuando el sujeto camina en un campo de visión de Kinect™. El sistema se válida para el ángulo de la articulación de la rodilla en diferentes condiciones de la marcha y también cambiando la posición del sensor Kinect™ a derecha e izquierda. Los resultados se compararon con un sistema electrogoniómetro estándar. El sistema de sensores goniométricos consiste en un potenciómetro eléctrico que puede acoplarse para medir el ángulo de una articulación. Un brazo del goniómetro se fija a un segmento de la extremidad y el otro al segmento de la extremidad adyacente [Bennett, 2013].

Con base en la información obtenida sobre las ventajas y usos que se le pueden dar al sensor Kinect™, en este artículo se presenta la obtención de la posición en las articulaciones del cuerpo humano con una pequeña base de datos de 16 personas y la información extraída se muestra en una interfaz que puede ser para uso de un fisioterapeuta.

2. Métodos

La Metodología utilizada es la de Ingeniería de Software Educativo (MeISE) [Abud-Figeroa, 2009], esta se divide en dos etapas, en la primera se contemplan los requisitos, el análisis y diseño preliminar, durante los cuales se determinan de forma general las características que se pretenden alcanzar con el producto, los requisitos pedagógicos, de comunicación y la arquitectura en la cual se construirá el software y se termina con un plan de iteraciones. En la segunda etapa se desarrolla el

producto, de modo que el equipo toma cada iteración, diseña, construye, prueba e implementa, evaluando al final la conveniencia de seguir con iteraciones, hasta tener un producto completo, la representación gráfica se observa en la figura 1.



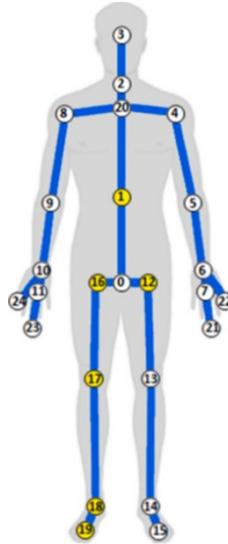
Fuente: Abud-Figeroa, 2009.

Figura 1 Fases de la metodología MeISe.

Etapa definición

El primer paso es determinar los requerimientos y el equipo necesario para el diseño conceptual. Los requisitos son tener un sistema de fácil acceso y uso para los fisioterapeutas o personal que lo requiera para hacer análisis de marcha o estudios de movimiento. El análisis se enfoca en la verificación de resultados. El objetivo de este sistema es capturar los movimientos de los usuarios, procesar las imágenes, generar bases de datos y presentar información útil para el especialista. Para realizar las pruebas de adquisición de imágenes durante el movimiento, se necesita una cámara, una cinta para caminar y un equipo de cómputo.

En este caso se utiliza la cámara Kinect v2™, que cuenta con un sensor de profundidad que permite el análisis de la marcha, adquiriendo las posiciones de las uniones o articulaciones, las cuales facilitan la comprensión en la postura del usuario. El Kinect v2™ permite obtener las posiciones tridimensionales de 24 articulaciones, las cuales se muestran en la figura 2 [Yeung, 2021] y las características en la tabla 1.



Fuente: Yeung, 2021

Figura 2 Uniones en el cuerpo humano con el Kinect v2™.

Tabla 1 Características del Kinect v2™.

Características	Descripción
Fecha de lanzamiento	Julio del 2014
Resolución de la cámara de profundidad	512 x 424 30 FPS (fotogramas por segundo)
Campo de visión de profundidad	70.6° H x 60° V
Rango óptimo de medición	0.5 - 4.5 m
Tecnología de profundidad	Tiempo de vuelo
Tecnología de seguimiento corporal	Modelo Random Forests basado en imágenes de profundidad

Fuente: Yeung, 2021

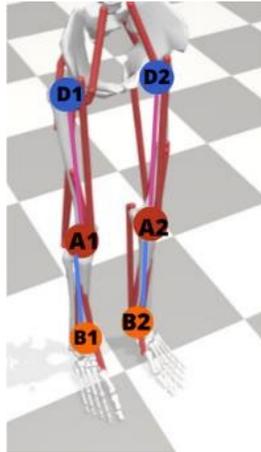
Se utiliza una caminadora eléctrica Centurfit MKZ-CAMI510R, velocidad de 1 hasta 10 km/h, su banda mide 110 cm de largo y 40 cm de ancho [Centurfit, 2023]. Cuenta con un motor de 1.5 hp, conexión Bluetooth y App para monitorear el desempeño desde un aparato electrónico y soporta un peso máximo de 90 kg. Debido a su tamaño y estructura sin barras laterales y un panel frontal, permite obtener las uniones del cuerpo humano al realizar las lecturas durante la caminata, así como su información cinemática.

Etapa desarrollo

Para la conceptualización se hace el análisis de marcha de la parte inferior del cuerpo, como se muestra en la figura 3. Donde:

D1: Cadera derecha. D2: Cadera izquierda.

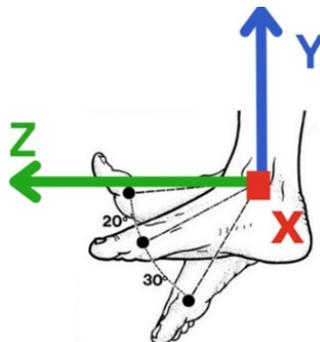
- | | |
|----------------------|------------------------|
| A1: Rodilla derecha. | A2: Rodilla izquierda. |
| B1: Tobillo derecho. | B2: Tobillo izquierdo. |
| C1: Pie derecho. | C2: Pie izquierdo. |



Fuente: Delp, 2007

Figura 3 Representación de las uniones en cada articulación en OPensim.

Se captura la información de usuarios de entre 20 y 29 años edad de género masculino y femenino y se genera una base de datos. Posteriormente, se obtienen los ángulos de cadera, rodilla y tobillo con la cámara Kinect v2™ y se verifican utilizando el goniómetro analógico como se indica en [Taboadela, 2007]. Esta investigación inicia con el tobillo y se obtienen las ecuaciones trigonométricas de los ángulos de flexión/extensión del tobillo derecho (ángulos α) y del izquierdo (ángulo β), figura 4. Para efectos de cálculo cada unión se nombra como se indica en la figura 5.



Fuente: Yeung, 2021

Figura 4 Flexión-extensión de tobillo [Yeung, 2021].

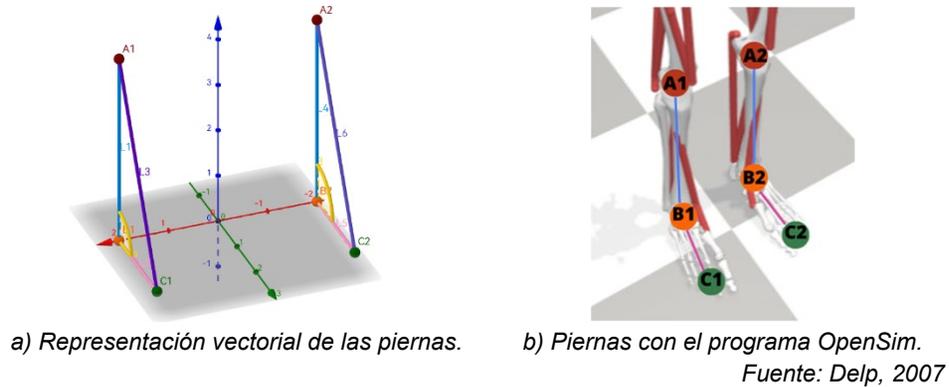


Figura 5 Representación del miembro inferior.

En la figura 6 se muestra la representación vectorial en el plano tridimensional de la pierna derecha e izquierda para indicar las variables que se utilizan en el cálculo de los ángulos. En la figura 7 se observa la representación vectorial de la pierna derecha en el plano sagital para el cálculo de los ángulos de flexión/extensión de rodilla y abducción/aducción de tobillo.

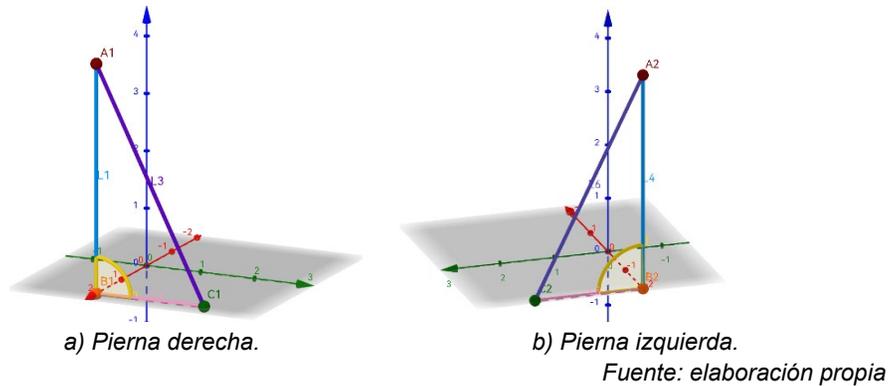


Figura 6 Vistas en el plano tridimensional.

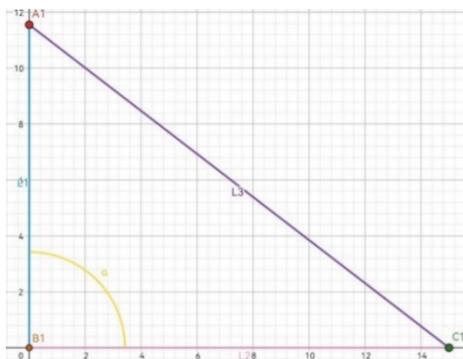


Figura 7 Representación vectorial de las uniones de la pierna derecha en plano sagital.

Para obtener el ángulo α del tobillo derecho, se genera un triángulo con ley de cosenos, para esto, se obtienen las posiciones de cada punto donde $A1(x_1, y_1, z_1)$, $B1(x_2, y_2, z_2)$ y $C1(x_3, y_3, z_3)$, estas se sustituyen en las ecuaciones de la 1 a la 4 para obtener las distancias de la rodilla a la punta del pie. Con las ecuaciones de la 1 a la 4 y 9 se calculan los ángulos con las uniones que proporciona el Kinect v2™, seleccionando solo los puntos para realizar el cálculo del ángulo de interés, en este caso el tobillo.

$$L1 = \overline{A1 * B1} \quad (1)$$

$$L2 = \overline{B1 * C1} \quad (2)$$

$$F1 = |\overline{A1 * C1}| \quad (3)$$

$$F2 = |\overline{B1 * C1}| \quad (4)$$

Donde:

$A1, B1$ y $C1$ Puntos tridimensionales de la rodilla, tobillo y pie derechos.

$L1$: Vector de $A1$ a $B1$

$L2$: Vector de $B1$ a $C1$

$F1$: Norma del vector $L1$

$F2$: Norma del vector $L2$

Para calcular las distancias se utilizan las ecuaciones de la 5 a la 8 y el ángulo con la ecuación 9. En la tabla 2 se muestra el almacenamiento de información de los pacientes. Donde α es el ángulo del triángulo (ángulo del tobillo)

$$L1 = (x_1, y_1, z_1) - (x_2, y_2, z_2) \quad (5)$$

$$L2 = (x_2, y_2, z_2) - (x_3, y_3, z_3) \quad (6)$$

$$F1 = \sqrt{L1} \quad (7)$$

$$F1 = \sqrt{L2} \quad (8)$$

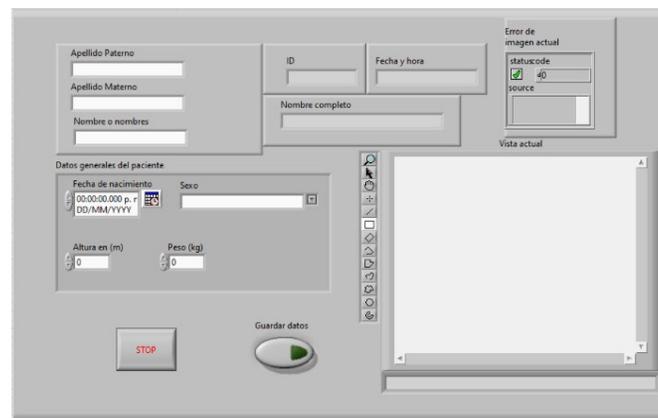
$$\alpha = \cos^{-1} \frac{L1 * L2}{F1 * F2} \quad (9)$$

Tabla 2 Datos básicos del paciente.

Nombre completo
Fecha de nacimiento
Peso
Altura
Género
Creación de ID con los datos anteriores
Fotografía del paciente

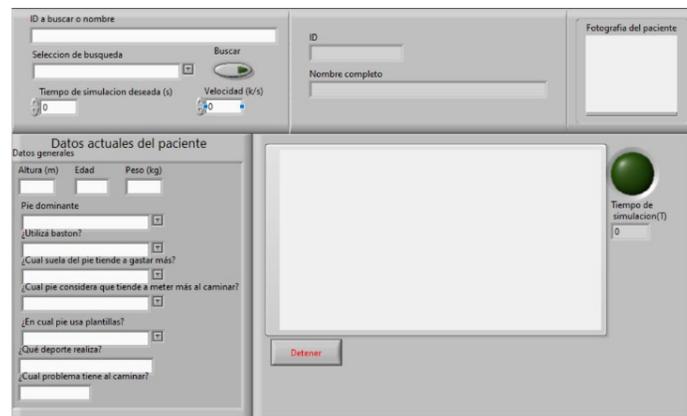
Fuente: elaboración propia

Con esto, se diseña una interfaz en la plataforma *LabVIEW™* (Figuras 8 y 9), que al ingresar el ID del paciente, muestran sus datos almacenados para que se inicie la captura de los movimientos durante la marcha, obteniendo ángulos de flexión/extensión, abducción/aducción y las ubicaciones de cada articulación (cadera, rodilla, tobillo) así como el pie. Esto se almacena en un archivo, destinado solo para el paciente incluyendo sus fotografías durante la caminata.



Fuente: elaboración propia

Figura 8 Diseño inicial de interfaz para registro de paciente visualización preliminar.



Fuente: elaboración propia

Figura 9 Diseño inicial de interfaz para obtención de marcha visualización preliminar.

Con el plan de iteraciones, se hace la identificación de requisitos a cubrir y con el software se analiza cuántos subproductos funcionales pueden producirse de modo que se liberen partes operativas del sistema final, con el objetivo de llevar un mejor control en el desarrollo.

Los requisitos son: creación de base de datos de pacientes, adquisición de ángulos (flexión/extensión rodilla y tobillo, al igual que abducción/aducción de tobillo) y posiciones en el plano tridimensional de miembros superiores.

En la figura 8 se muestra el diseño computacional del registro de pacientes y en la figura 9 la obtención del registro de la marcha.

Se obtienen las posiciones de 22 uniones del cuerpo humano de 16 personas, como se muestra en la tabla 3. El análisis de caminata fue de 2 minutos y el proceso total para la adquisición de datos con personas tomó aproximadamente 10 minutos, figura 10. Los pasos para obtener y registrar la información son:

- Firma de consentimiento para toma de datos.
- Adquisición de datos físicos (peso y altura).
- Registro de paciente.
- Obtención de movimiento del paciente.



Fuente: elaboración propia

Figura 10 Obtención de posiciones de uniones del paciente.

Tabla 3 Personas participantes para análisis de marcha.

Género	Cantidad
Masculino	9
Femenino	7
Total	16

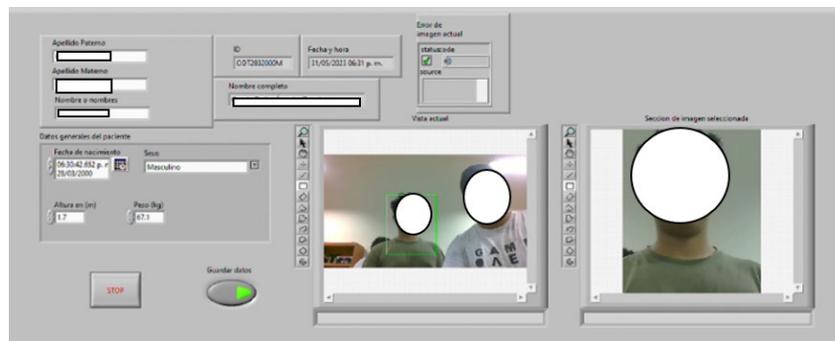
Fuente: elaboración propia

Se seleccionaron personas de entre 20 a 29 años, con un peso menor a 100 kg, sin importar las complejiones, ya que para el Kinect v2™ no afecta en la captura de imágenes. Este se colocó a una distancia de 2 m de la caminadora, según la distancia recomendada por [Yeung, 2021]. Los usuarios utilizaron ropa cómoda, de

color negro u oscuro. En el caso de usuarios que utilizan plantillas para caminar, se les hacen dos análisis, uno con calzado y otro sin él, para apreciar la diferencia durante la caminata. Las pruebas se realizaron a diferentes horas del día, para verificar que no se alteren las mediciones con la iluminación en la habitación.

3. Resultados

El registro del paciente se hace colocando nombres y apellidos, iniciando por el paterno, después el nombre, una vez puesta la fecha de nacimiento y género, se crea el código ID de identificación. La pestaña de la figura 11 es llamada vista actual y permite seleccionar el área de interés para la toma de fotografía del paciente.



Fuente: elaboración propia

Figura 11 Registro de paciente.

En el registro del paciente, se almacenan sus datos y fotografía, así como sus movimientos, fecha y hora de captura. Una vez obtenidas las posiciones de cada unión, se almacena la información con 1760 fotografías tomadas durante 2 minutos. La fotografía va de la cabeza hasta la cadera, después el miembro inferior derecho de cadera al pie derecho y finaliza con cadera izquierda hasta pie izquierdo.

Un ejemplo de aplicación se muestra en las figuras 12 y 13. En la figura 12a, en el usuario se detectó una desviación de abducción/aducción en el pie izquierdo de 16.35° , que midiendo desde el eje x da 73.65° , indicada por la cámara Kinect v2™. Posteriormente como el goniómetro indica 180° en su regleta cuando los pies están en paralelo, a ese valor se restan los 73.653° que se obtuvieron del ángulo del pie del paciente al caminar, quedando 106.347° para efectos de cálculo, figura 13.

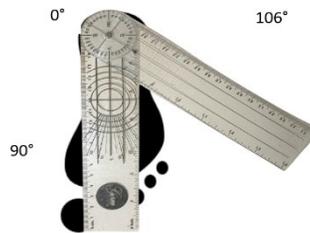


a) Masculino.

b) Femenino.

Fuente: elaboración propia

Figura 12 Imagen capturada con el Kinect v2.



Fuente: elaboración propia

Figura 13 Ángulo con la herramienta del goniómetro.

Para la interpretación del ángulo de abducción/aducción, se tomó la lectura en el segundo 3.32, teniendo como resultado las posiciones en el plano 3D:

$$\text{Tobillo derecho} = B1(0.170384, -0.819265, 3.007797)$$

$$\text{Tobillo izquierdo} = B2(0.056043, -0.834242, 3.347133)$$

$$\text{Pie izquierdo} = C2(0.170384, -0.819265, 3.007797)$$

Substituyendo los valores de las posiciones en las ecuaciones 5 a la 9 se tienen las distancias de cada punto:

$$L1 == (0.1143, 0.0150, -0.3393)$$

$$L2 = (-0.1143, -0.0150, 0.3393)$$

$$F1 = (0.3381, 0.1224, 0.5825)$$

$$F2 = (0.3381, 0.1224, 0.5825)$$

$$\alpha = 108.4151^\circ$$

También se realizó la prueba en mujeres, figura 12b, y en una de ellas se obtiene su ángulo de desviación de 125.0692° , considerando para este caso $L1 = (0.5368, 0.9883, 1.3516)$, $L2 = (0.4759, 0.4649, 0.02862)$ y $\beta = 125.0692^\circ$. Con esto

puede observarse que las variables que muestran la diferencia entre hombre y mujer, durante la marcha no fueron muchas, por cálculo 3 grados, pero son principalmente por el tipo de calzado y ropa, además de la forma específica de caminar de cada persona.

4. Discusión

Con base en la teoría se puede decir que la cámara Kinect v2™ presenta ventajas porque su adquisición es accesible al público en general. Su uso es más intuitivo para este tipo de mediciones, porque solo se necesitan los paquetes computacionales de obtención de información en imágenes y las posiciones de las uniones en el plano 3D. Es posible realizar las operaciones para los movimientos de flexión/extensión y abducción/aducción.

Por otro lado, el software *LabVIEW™* tiene compatibilidad con el Kinect v2, permitiendo obtener la información de las posiciones de las 24 uniones.

Las pruebas que se realizaron a los participantes muestran que los porcentajes de error al hacer comparaciones entre lo deseado y lo capturado, tabla 4. Este es solo un ejemplo, pero los 16 participantes mostraron diferencias en ángulo de abducción-aducción principalmente, debido a la forma específica de caminar.

Tabla 4 Abducción-aducción de pierna derecha de hombre y mujer.

Características/Género	Hombre	Mujer
Fotografías tomadas	1760	1760
Lectura de ángulos obtenido con Kinect	106.347 °	127.4257 °
Ángulo según goniómetro	106 °	127 °
Ángulo calculado	108.410 °	125.0692 °
Error en lecturas	2.41 °	2.3565 °
Observaciones	Uso de calzado deportivo	Caminata sin calzado

Fuente: elaboración propia

5. Conclusiones

El uso de la interfaz diseñada en *LabVIEW™* presentó una rápida captura de movimiento de la persona con 30 FPS (Fotogramas por Segundo), para ser utilizada como herramienta de obtención de posiciones, además que no es necesario un traje especial para capturarlas como en los sistemas ópticos con marcadores. Para el

uso del sistema solo se necesitó un espacio para colocar el Kinect v2™ a 2 metros de una caminadora sin panel frontal para hacer la medición.

Por otro lado, al verificar los ángulos adquiridos por la cámara con el goniómetro, se obtuvo un error del 2%, lo cual no representó algún problema para iniciar un análisis rápido de la marcha, considerando esto como primera secuencia de pruebas.

El realizar las pruebas a hombres y mujeres permitió observar que la diferencia en la forma de caminar radica en el movimiento de caderas y braceo y esto impacta en el largo del paso. También se observó que el uso del calzado tiene afectación en los ángulos de salida por la posición que toma el pie en cada movimiento.

Esta investigación es una de las partes que conforman el desarrollo de un laboratorio de análisis de marcha que se desea establecer en la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Se realizó para verificar si una cámara Kinect V2™ es suficiente para obtener los ángulos de movimiento durante la marcha de un usuario, además de crear una base de datos. La fácil adquisición de la cámara Kinect v2™, así como el manejo de esta y de los datos que entrega a través de las imágenes, permitió demostrar que se puede continuar con la investigación. Como trabajo futuro, con los datos obtenidos se pueden implementar series de tiempos, considerando variables como el tipo de ropa, uso o no de calzado, género, edad y condición física entre algunas otras.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Abud-Figeroa, Ma. A. MeISE: Metodología de Ingeniería de Software Educativo. *Revista Internacional de Educación En Ingeniería*, 1–9, 2009.
- [2] Bennett, C.L., Odom, C., & Ben-Asher, M. Knee Angle Estimation based on IMU data and Artificial Neural Networks. *Biomedical Engineering Conference (SBEC)*, 111-112, 2013.
- [3] Bravo, M. D. A., Rengifo, R. C. F., & Agredo, R. W. Comparación de dos Sistemas de Captura de Movimiento por medio de las Trayectorias Articulares de Marcha. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 149–160, 2016.
- [4] Centurfit. Caminadora Eléctrica 1.5 HP Portátil. Obtenido el 12 de junio del 2023, de [centurfit-cinta-correr-1-5-hp-control](https://centurfit.com.mx/cinta-correr-1-5-hp-control), 2023.

- [5] Delp, S.L., Anderson, F.C., Arnold, A.S., Loan P, Habib, A., John, C.T., & Guendelman, E., T. D. OpenSim: Open-source Software to Create and Analyze Dynamic Simulations of Movement. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2007.
- [6] Galna, B., Barry, G., Jackson, D., Mhiripiri, D., Olivier, P., & Rochester, L. Accuracy of the Microsoft Kinect sensor for measuring movement in people with Parkinson's disease. *Gait & Posture*. 39, 1062–1068, 2014.
- [7] Golingay L. A. T., Lacaba, A. A., Palma, R. K. R., Par, J. P., Tabanera, V. J., Valenzuela, R. V., Anacan R., & Villanueva M. Gait Recognition of Human Walking thru Gait Analysis. 2022 ASU International Conference in Emerging Technologies for Sustainability and Intelligent Systems (ICETSYS), Manama, Bahrain, 233–240, 2022.
- [8] Mutto-Carlo D., Zanuttigh-Prieto, & Cortelazzo-Guido M. Time-of-Flight Cameras and Microsoft Kinect (TM), In Springer, 116, 2012.
- [9] Nambiar-Athira M., Correia-Paulo & Soares-Luis D. Frontal gait recognition combining 2D and 3D data. Coventry: ACM, 145–150, 2012.
- [10] Taboadela-Claudio H. Goniometría una herramienta para la evaluación de las incapacidades. *Medicine*, 2007.
- [11] Ivancevic-Vladimir & Ivancevic-Tijana. Human-Like Biomechanics: A Unified Mathematical Approach to Human Biomechanics and Humanoid Robotics. *Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering*, 28, 2008.
- [12] Yennam-Angad, Sherwani-Kashift & Kumar-Neelesh. Development of kinematic measurement system with Kinect sensor. 12th IEEE International Conference Electronics, Energy, Environment, Communication, Computer, Control, 1–5, 2016.
- [13] Yeung-Ling, Yang-Zhengen, Cheng, Kenneth, Du-Dan & Tong-Raymod. Effects of camera viewing angles on tracking kinematic gait patterns using Azure Kinect, Kinect v2 and Orbbec Astra Pro v2. *Gait and Posture*. Elsevier, 19–26, 2021.