

Herramienta para el análisis cinemático de la rodilla en el plano sagital en niños con Parálisis Cerebral mediante el uso del Kinect y Procesamiento de Imágenes

Kevin Martell, Jessica Santiago, Max Chumpitaz, Ítala Zegarra
Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería,
Prolongación Primavera 2390, Lima, Perú, Lima 33
u201011104@upc.edu.pe, u920368@upc.edu.pe,
max.chumpitaz.avendano@gmail.com, itala_zegarra@hotmail.com

Abstract

In Peru, the *Instituto Nacional de Rehabilitación* (INR) is one of the centers that treats people with disabilities. In 2013, 49.88% of its attended patients had ages between 0 and 9 years, and 0.81% from 18 092 patients have been diagnosed as children with Cerebral Palsy (CP). Given such demand and despite the efforts to solve this problem, access to a number of analyses to treat this disability is hindered, particularly, the knee kinematics analysis of children with CP, which is the subject of our research. To perform this analysis, the INR uses its gait laboratory; the problem is that it requires complex equipment, a big budget, and highly-trained personnel. This study proposes a tool, implemented in a gait reeducation center, for this analysis based on Image Processing and Kinect, which is a device for simple, portable and economical gait analysis. For the validation of the tool, five subjects with normal gait that have been evaluated in a center of gait reeducation. The measurement results were significantly similar compared to the INR gait laboratory. Later, the tool was applied in children with Cerebral Palsy, proving that it helps to increase the accessibility of its treatment. In conclusion, Kinect is a low cost alternative for capturing knee angles of children with CP in 2D kinematics analysis.

Keywords: Kinect, gait analysis 2D, cerebral palsy

Resumen

En el Perú, el Instituto Nacional de Rehabilitación (INR) es una institución dedicada a tratar personas con discapacidades físicas o mentales. En el año 2013, el 49.88% de sus pacientes atendidos por consulta externa tuvieron edades entre 0 y 9 años y el 0.81% de un total de 18,092 fueron diagnosticados con parálisis cerebral infantil (PCI). A pesar del esfuerzo por enfrentar el problema, se dificulta el acceso a diversos análisis de este tipo para tratar esta discapacidad, en particular, al análisis cinemático de la rodilla de niños con parálisis cerebral (PC), que es tema del presente trabajo. Para realizar este análisis, el INR utiliza su laboratorio de la marcha, el cual requiere de equipos complejos, presupuesto elevado y personal altamente capacitado para su uso. El presente trabajo propone una herramienta, implementada en un centro de reeducación de la marcha, que permite cuantificar este análisis mediante el uso de Procesamiento de Imágenes con el dispositivo Microsoft Kinect, el cual es un instrumento simple, portátil, económico y eficaz para el análisis de la marcha. Para validar su efectividad, se evaluaron a cinco individuos con marcha normal. Los resultados fueron similares a los obtenidos por los del laboratorio de la marcha del INR. Posteriormente, se aplicó la herramienta en niños con PC, comprobándose que contribuye a la accesibilidad de su tratamiento. En conclusión, el Kinect es una buena alternativa de bajo costo, que contribuye a la captura de ángulos específicos durante el análisis cinemático de la rodilla de niños con PC en 2D.

Palabra clave: Kinect, análisis de la marcha 2D, parálisis cerebral

1. Introducción

La Parálisis Cerebral (PC) es la condición neurológica más frecuentemente encontrada por los terapeutas físicos pediátricos (Olney, 2006). Esta consiste en un desorden del movimiento producido por una lesión en el cerebro inmaduro. Para determinar el grado y ubicación de esta lesión, es necesario conocer el tipo de desviación que está presente (Gage, 2009). El análisis de la marcha permite identificar las desviaciones, encontrando ciertos movimientos normales y patológicos al caminar, a la vez que evalúa patologías en niños con PC (Schwartz, 2004). Debido a la complejidad de la marcha, se necesita de una herramienta apropiada para medir de manera confiable y repetida veces el análisis de la marcha y para determinar los objetivos del tratamiento y evaluar sus resultados mediante imágenes (Viehweger, 2010). La herramienta que permite realizar este análisis es el laboratorio de la marcha, que monitorizará como se desarrolla el desplazamiento, recopilando información de la Cinemática, que se ocupa del estudio del movimiento del cuerpo y sus segmentos sin el cálculo de las fuerzas que lo produce. Para la obtención de la gráfica del análisis cinemático de la rodilla en el plano sagital, en las ocho fases de la marcha, se medirá el ángulo de Flexo Extensión de la Rodilla que surge del valor del ángulo formado por la unión de dos líneas, ambas son los ejes longitudinales del Fémur y de la Tibia (Gage, 2009).

En el Perú, solo el Instituto Nacional de Rehabilitación (INR) y la Clínica San Juan de Dios poseen, en cada una de sus instalaciones, un laboratorio de la marcha operativo. Según el INR (2015), en el Perú, 2 368 076 personas presentan un tipo de discapacidad y, en el 2013, el 10.9% de hogares tienen al menos una persona con discapacidad física o mental. Además, de los pacientes atendidos por consulta externa, el 49.88% de ellos tienen edades entre 0 y 9 años y el 0.81% de un total de 18 092 pacientes atendidos fueron diagnosticados con parálisis cerebral infantil. Por tal cantidad de demanda, se limita y dificulta el acceso a los especialistas (fisioterapeutas) y a las pruebas de análisis cinemático en niños con PC para poder elegir la mejor estrategia en su tratamiento. Además, es difícil usar e implementar el conjunto de herramientas necesario para el laboratorio de la marcha, pues, para usarlo y mantenerlo, se requiere de altos costos y de personal técnico multidisciplinario y altamente capacitado. A todo lo anterior, se suma la poca inversión en el sector médico por parte del Estado Peruano. En este contexto, el Microsoft Kinect surge como alternativa de solución, pues su bajo costo y la precisión de sus sensores permiten grabar variables concernientes al análisis de la marcha.

Se han realizado esfuerzos para implementar el análisis de la marcha usando el Kinect. Gabel (2012) propone un modelo usando el esqueleto virtual producido por el sensor Kinect. Concluyeron que el Kinect puede usarse para realizar mediciones precisas sobre las fases de la marcha y mejoraron el sesgo y la varianza de arte previo. Mentiplay (2013) propone un método para medir la postura estática del pie, en la que determinaron si Kinect puede utilizarse para una evaluación confiable para una medición general. Se concluye que el Kinect demuestra buena confiabilidad en comparación a un sistema de análisis 3D. Xu Xu (2015) usó el sensor Kinect para medir los parámetros de la marcha en una cinta caminadora. Se concluyó que la precisión, cuando se usó el sensor Kinect, variaba de acuerdo a los parámetros registrados; asimismo, se determinó que el sensor Kinect es apropiado para el análisis de la marcha sobre una cinta caminadora, dependiendo de los parámetros y de la precisión deseada para una tarea específica.

Esta investigación se realizó con el fin de aportar, a las alternativas de análisis cinemático de la rodilla, una solución de bajo costo y con un nivel de precisión similar al del laboratorio de la marcha, para que el resultado de la medición pueda ser considerado en un diagnóstico clínico con bajo costo. Además, se espera evitar los problemas de complejidad que ocurren en la implementación de un laboratorio de la marcha y la capacitación del personal requerido para su operación. Por ello, el objetivo principal es diseñar, desarrollar e implementar una aplicación de escritorio que permita cuantificar y documentar la marcha en la rodilla de niños con parálisis cerebral. Para ello, se usarán un conjunto de marcadores biométricos, colocados en los miembros inferiores para el análisis de la marcha. Además de un sensor de captura de movimiento Kinect que servirá como entrada de datos para el procesamiento de imágenes. Luego, se procesarán los datos obtenidos (como el ángulo de flexión) y se generarán reportes gráficos que servirán al fisioterapeuta para el control del paciente y una mejor estrategia de rehabilitación.

2. Clasificación de las aplicaciones de Kinect empleado para el análisis de la marcha y la rehabilitación basado en juegos

2.1 En análisis de la marcha

Medir y calcular manualmente las variables espaciotemporales del análisis de la marcha constituye un enorme esfuerzo para los profesionales de la salud. Clark (2013A) propone automatizar el cálculo de estas variables en base al análisis de imágenes tomadas con Kinect. Se realizó la prueba de 21 jóvenes voluntarios con algún problema en la marcha, alcanzando un coeficiente de determinación $R^2 = 0.99$. Asimismo, Clark (2013B) propone un producto que determine correcciones de los movimientos de las articulaciones inferiores utilizando Kinect y 3DMA. Para el experimento participaron 20 adultos y se determinó que el error medio de la evaluación tradicional es de 3.2° y el producto propuesto por Clark es de 1.71° . Se redujo el porcentaje de error y se brindó una alternativa de bajo costo y fácilmente replicable. Yeung (2014) propone calcular el centro de masa corporal de los pacientes durante la marcha. Se realizó la prueba a 10 varones para realizar una marcha común en 2 situaciones distintas: ojos abiertos, ojos cerrado, alcanzando un error de 4.38 mm, lo cual constituye una mejora comparado con el error de otras tecnologías actuales de 3.00 mm lo que lo convierte en una alternativa barata y eficaz. Auvinet (2014) propone la automatización el método actual de medición de ciclos de la marcha realizada en caminadoras mediante el uso de Kinect. Se realizaron las pruebas a 11 sujetos sanos que fueron grabados mientras usaban el sistema optoelectrónico tradicional y mientras usaban Kinect. Los resultados muestran una mayor precisión en los cálculos por parte de Kinect esto debido a que ha sido diseñado para calcular velocidades relativas a diferencia de la tecnología actual. Mentiplay (2015) propone realizar el cálculo automático de las variables cinemáticas y espacio temporales de la marcha con el uso Kinect V2. Este experimento se realizó con 30 adultos jóvenes, el cual alcanzó niveles de error despreciables en el caso de variables espaciales y para las variables cinemáticas se obtuvieron niveles de error dentro de los valores aceptables. Otra experiencia de aplicación, Cippitelli (2015) propone desarrollar una alternativa para el análisis lateral de la marcha humana basada en la estimación de posiciones mediante Kinect. Las pruebas realizadas en los voluntarios develaron que las estimaciones se ajustan a las curvas de referencia de la vista frontal. Con ello es posible analizar la marcha humana desde el plano lateral. Nyman (2015) propone utilizar los sensores de profundidad y reconocimiento de imágenes de Kinect para desarrollar un sistema que permita diagnosticar ciertos trastornos motrices en base a la marcha del paciente. Para el experimento, se evaluó a 18 personas enfermas de Parkinson y 15 jóvenes sanos como grupo de referencia y se determinó con una precisión de 94.1% que paciente tiene Parkinson en base a su marcha. Prochazka (2015) propuso una herramienta que retroalimente en tiempo real al paciente para su rehabilitación. En este camino, 24 mujeres atletas se repartieron en un grupo control y un grupo con retroalimentación con Kinect. El grupo estudiado con Kinect aumento el pico de flexión de la rodilla y mejoro notablemente sus habilidades deportivas muy por encima de los datos de grupo de control, lo que enfatiza la eficacia de esta tecnología en la recuperación de los pacientes.

2.2 En rehabilitación basado en juegos

Chang (2013) propone un sistema de juegos utilizando Kinect, el cual evalúa sus movimientos físicos. Este resultó en la mejora significativa del número de movimientos correctos. Este efecto era impulsado por el sistema de niveles y puntuación que ofrece el sistema, el cual impulsaba a los participantes a superarse a sí mismos. Ulasli (2014) propone el uso de juegos de realidad virtual en Kinect en las terapias de rehabilitación con el fin de disminuir sus niveles de abandono. Estos juegos se aplicaron a un paciente con leucodistrofia metacromica. Durante la aplicación de esta terapia experimental, el paciente mejoro su velocidad y equilibrio. Estos resultados presentaron una persistencia mayor en el tiempo y un gran disfrute y satisfacción para el paciente.

3. Herramienta

3.1 Método

El método seleccionado para el presente estudio es el Project Management Body of Knowledge (PMBOK), principal referencia para la elaboración de proyectos de Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) y que según el Project Management Institute (PMI) reúne las mejores prácticas para la gestión de proyectos de Tecnología de Información. Para el desarrollo del proyecto se basó en varias fases y son las siguientes: Análisis, diseño, implementación control y cierre.

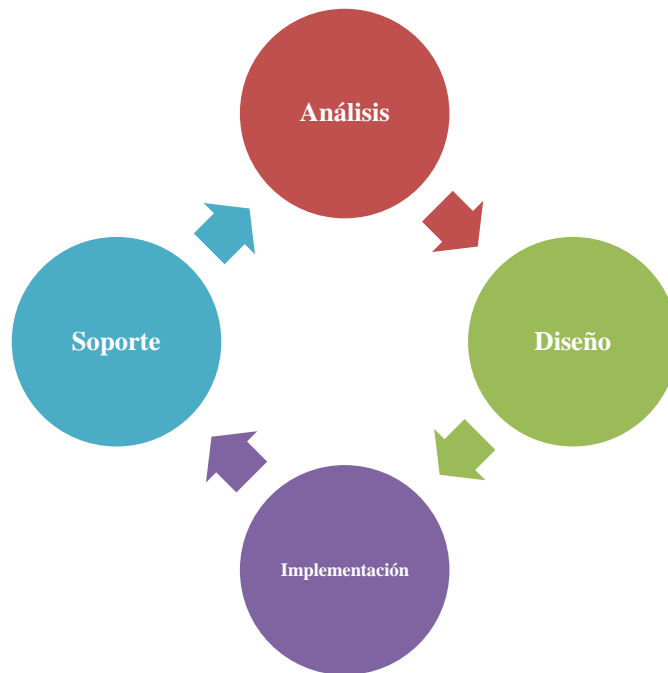


Fig. 1. Fases del proyecto

3.2 Organización

El desarrollo de esta herramienta fue realizado para la clínica CERENE, una institución privada de salud que asiste a niños con deficiencias motoras en tratamientos de rehabilitación neurológica. Sin embargo, esta institución utiliza procedimientos manuales para la recolección de datos de la marcha humana, lo cual demanda mayor tiempo en su elaboración y generación de posibles errores durante el análisis y diagnóstico de ciertas condiciones médicas.

3.3 Análisis

En principio, se analizó toda la organización al recolectar la información necesaria para diseñar el funcionamiento general de la organización y lograr identificar los procesos prioritarios y con mayor impacto con el fin de definir el alcance y propósito de la implementación.

Luego, y en base a las entrevistas realizadas con los representantes de cada uno de los procesos de la organización se concluyó que el proceso de Gestionar Consulta Médica es el que requiere más esfuerzos y el que tiene mayor impacto en la organización.

Llegado a este punto, se puede apreciar que el proceso es totalmente manual dada su naturaleza de origen médico que requiere interacción directa entre el paciente y el galeno.

3.4 Diseño

Después, se prosiguió a diseñar el nuevo proceso y la herramienta. Ambos fines deben realizarse en base a los requerimientos especificados durante las entrevistas con el personal responsable del proceso. Para ello se identificaron 11 requerimientos funcionales propuestas por el cliente.

3.4.1 Proceso

El proceso diseñado gestionará la información de los pacientes, fisioterapeutas, observaciones de la marcha, cálculos necesarios para procesar la información, etc. No obstante, hay actividades que no se han automatizado a pedido especial de los representantes de la clínica CERENE. Dicho proceso se especifica en las figuras 2 y 3.

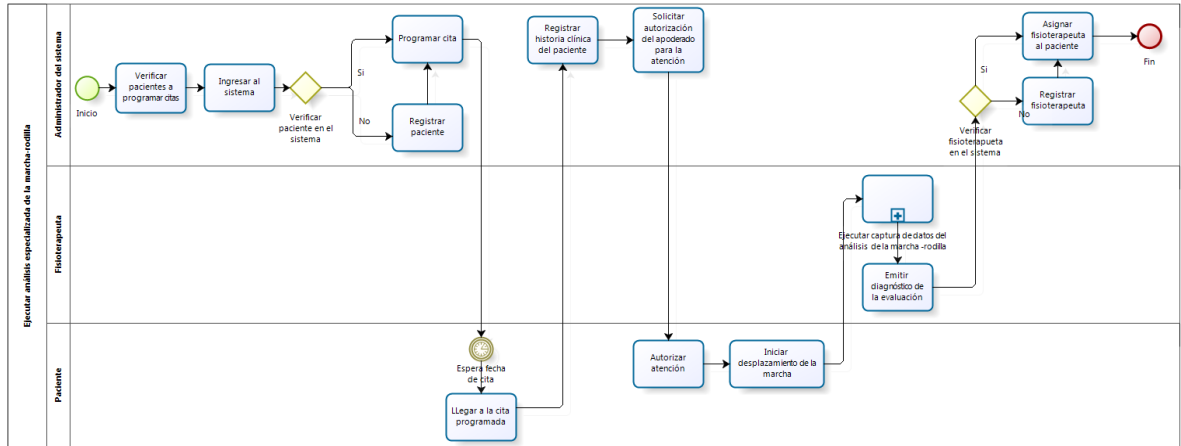


Fig. 2. Proceso diseñado de Ejecutar análisis especializado de la marcha-rodilla-Parte 1

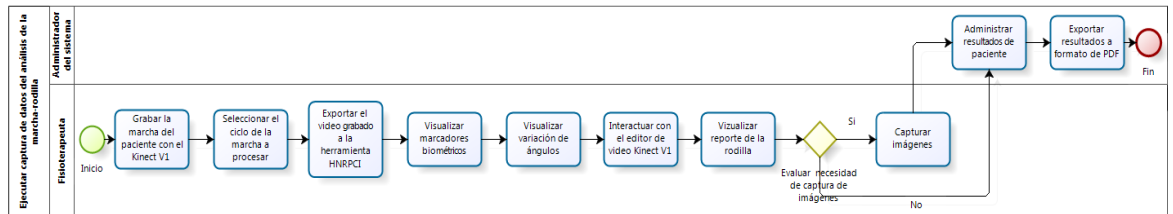


Fig. 3. Proceso diseñado de Ejecutar análisis especializado de la marcha-rodilla-Parte 2

3.4.2 Arquitectura de software

Para soportar adecuadamente las necesidades tecnológicas de la herramienta para el análisis cinemático de la rodilla en el plano sagital se diseñaron las vistas físicas y funcionales de su arquitectura tecnológica. Estas se especifican en las figuras 4 y 5.

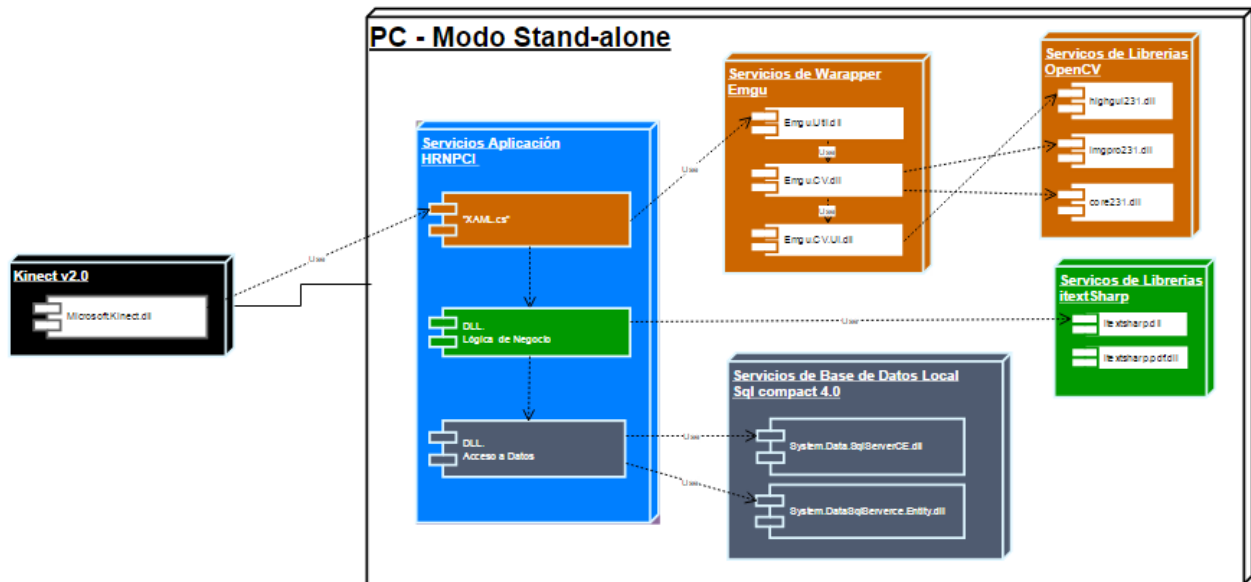


Fig. 4. Vista física de la arquitectura

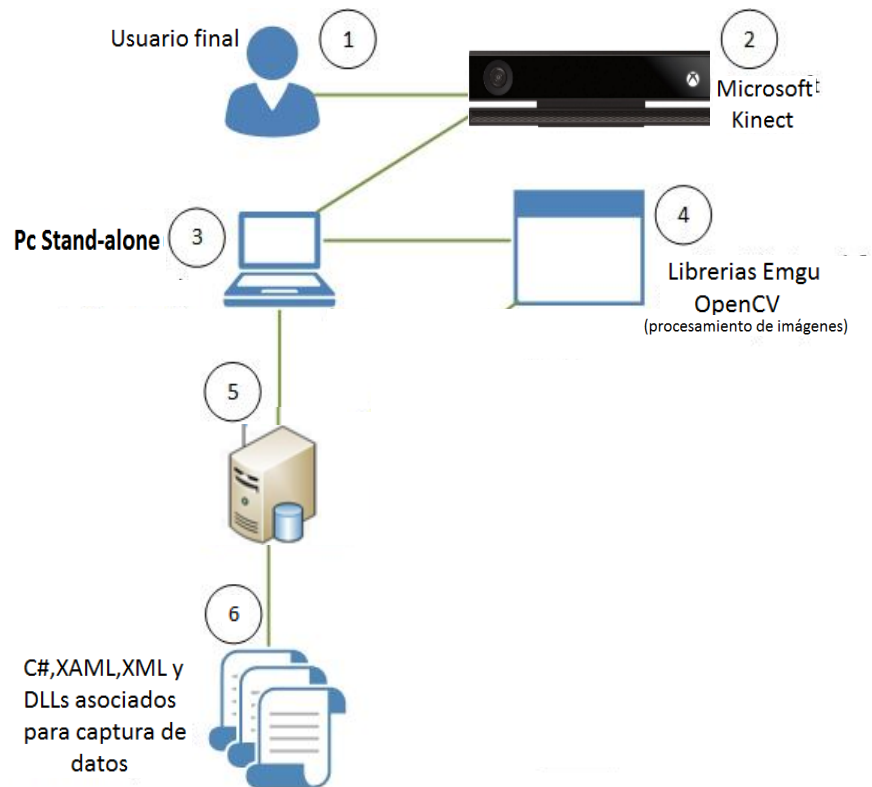


Fig. 5. Vista funcional de la arquitectura

El proceso se inicia cuando el usuario final mediante Kinect captura las imágenes de la marcha del paciente, estas luego son enviadas a la Pc modo Stand-alone para luego ser procesadas por un servicio de la aplicación mediante las librerías de OpenCV (Wrapper Emgu). Luego, serán almacenadas por medio del servicio de Base de datos para finalmente generar los reportes asociados a la marcha.

3.5 Implementación

3.5.1 Desarrollo

El software fue codificado en el lenguaje C # y se hizo uso de las librerías para procesamiento de imágenes Open CV utilizando un adaptador para su uso en .NET llamado Emgu. Asimismo, Se empleó el Kinect v2.0 y su kit de desarrollo SDK v2.0, Kinect Studio v2.0 y el entorno de desarrollo Visual Studio 2012. Adicionalmente se trabajó a 30 Hz como frecuencia de recopilación de imágenes.

La herramienta a lo largo de todos los ciclos incrementales sufrió modificaciones, algunas a nivel estructural pasando por aumentar funcionalidades que no estuvieron planificadas como la gestión de usuarios, pacientes y fisioterapeutas y reportes a pedido del usuario.

Pasados varios ciclos incrementales en donde se cerraron y aprobaron los desarrollos de cada una de los requerimientos funcionalidades especificados, luego de sus respectivas pruebas funcionales y de aceptación.

Finalmente, y fruto de los esfuerzos mencionados la herramienta terminada cumple con los requerimientos y funcionalidades especificados y siguen el flujo como se muestra en la figura 6.

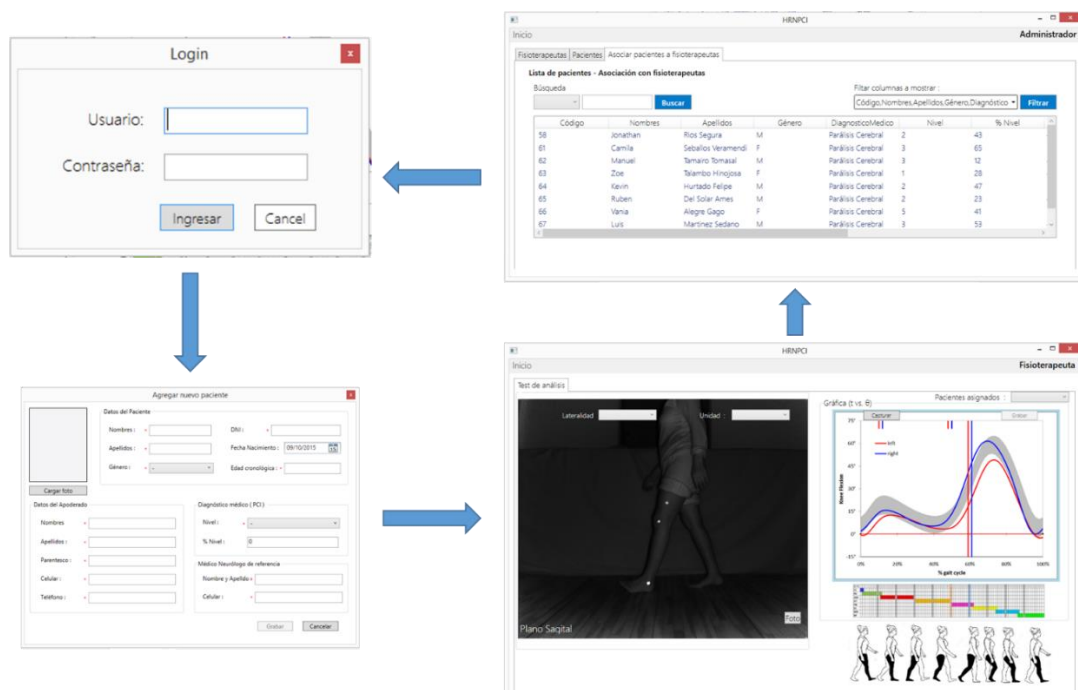


Fig. 6. Flujo de la herramienta

Para la detección de ángulos de la flexión de la rodilla se realizó el siguiente procedimiento como se muestra en la figura 7.

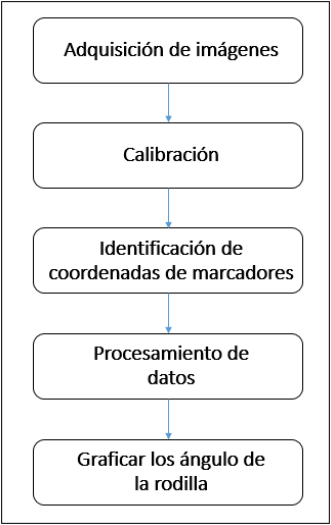


Fig. 7. Procedimiento de detección de ángulos de la rodilla en el plano sagital

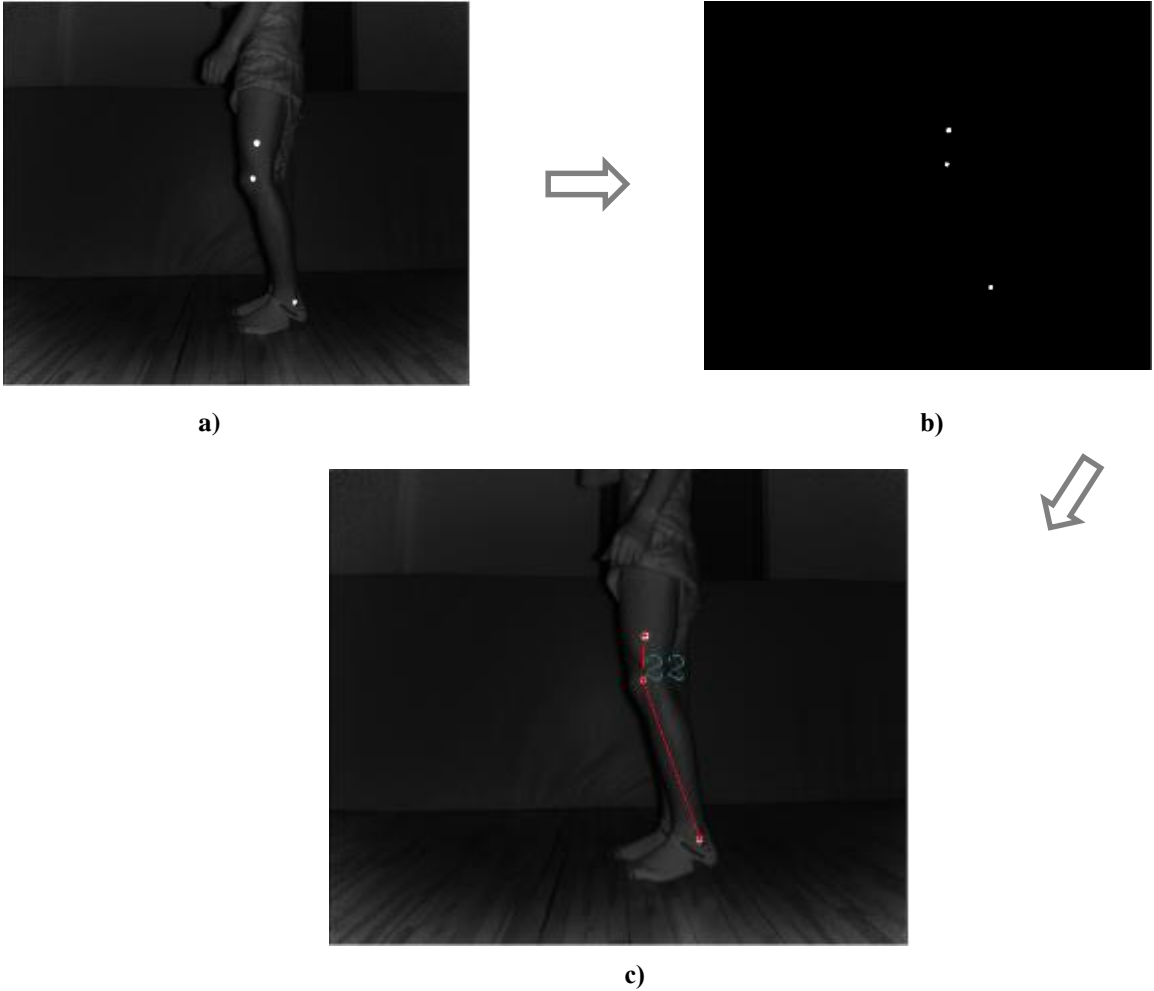


Fig. 8. a) Imagen infrarroja capturada por el Kinect, b) Identificación de coordenada de marcadores c) procesamiento de datos y gráfica de ángulos de la rodilla.

Se necesitó de transformaciones de formato de imagen para poder analizarlas con las librerías de procesamiento de OpenCV como se muestra en la figura 8(a). Posteriormente, se hizo uso de un umbral para poder eliminar la imagen de fondo y cuerpo del paciente con el fin de detectar única y exclusivamente los marcadores como se muestra en la figura 8(b).

Una vez realizado este proceso se procedió a detectar las posiciones en x , y de los 3 marcadores retro-reflectivos y hallar el ángulo formado mediante la unión de estos por medio de dos líneas longitudinales que se intersectan en la rodilla como se muestra en la figura 8(c). Este proceso se repitió por cada una de las imágenes enviadas por el periférico a 30 Hz de frecuencia. Los ángulos fueron hallados con la siguiente ecuación matemática.

$$a = (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 \quad (1)$$

$$b = (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 \quad (2)$$

$$c = (x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 \quad (3)$$

$$\text{Ángulo de flexion de la rodilla} = \cos^{-1} \left(\frac{a+b-c}{\sqrt{4*a*b}} \right) * \left(\frac{180}{\pi} \right) - 180 \quad (4)$$

3.6 Soporte

Se requirió la capacitación realizada, se requirió dar seguimiento al funcionamiento de la herramienta y que su uso se esté llevando adecuadamente, al tiempo que se buscó identificar oportunidades de mejora y posibles fallas no identificadas anteriormente.

4. Método

4.1 Participantes

Después del desarrollo de la herramienta, se invitó a 5 personas de entre 20 a 25 años de edad con marcha normal que laboran en el instituto nacional de rehabilitación (INR) para probar este desarrollo.

4.2 Configuración

El dispositivo Kinect utilizado en este experimento se conecta a una computadora portátil con un procesador Core i7 con frecuencia de reloj de 2.30 GHz y 6GB de RAM con el sistema operativo Windows 8. Este se posiciona sobre una plataforma móvil que acompaña al individuo evaluado durante su marcha.

A los participantes se les dio la explicación respectiva de la dinámica de estudio, la cual consistió en caminar a lo largo de un ambiente de 6 m de largo y 2.5 m de ancho. Al mismo tiempo, se les solicitó no usar luces, focos, objetos brillantes o retro reflectivos ya que estos pueden potencialmente alterar la toma de datos. También, y para minimizar el efecto mencionado, se les proporcionó una pantaloneta negra y opaca que los cubría desde la cintura hasta la parte media del muslo y que dejaba descubiertos el resto de sus miembros inferiores con el fin de poder colocar adecuadamente los 3 marcadores ubicados en la prolongación de la trocánter (punto medio del eje longitudinal del fémur), cóndilo (al nivel de la rodilla) y maléolo externo (al nivel del tobillo).

El periférico fue ubicado a una distancia de 1.50 m de la línea referencial de desplazamiento de 6 metros de longitud de largo destinado para la obtener una marcha continua. A la vez, el periférico, fue puesto sobre una base desplazable a una altura de 0.35 metros del nivel del suelo con un ángulo de inclinación de 0° grados que permitió un rango de visión óptimo para el propósito del experimento.

4.3 Definición de comportamientos esperados

Para el experimento, a cada uno de los participantes se le solicitó realizar cuatro series de desplazamiento. Se tomó como punto de referencia (PR) al periférico ubicado en el punto medio del largo ambiente experimental enfocando el área de marcha a una distancia de 1.50 metros. Cada serie del desplazamiento consistía en caminar del punto A (punto de inicio ubicado en el extremo derecho del ambiente experimental desde el PR) y pasar por el punto B (punto de giro y retorno ubicado en el lado izquierdo del ambiente experimental desde el PR). Cada serie de desplazamiento se realizó de forma recta y paralela al largo de la superficie respetando el ritmo y velocidad de su marcha. Asimismo, los participantes realizaron el desplazamiento de la forma más natural posible y evitando las distracciones externas, pero siguiendo las especificaciones mencionadas.

4.4 Condiciones experimentales

Este experimento consiste en medir el ángulo formado por la articulación de la rodilla de todos los participantes realizando los desplazamientos especificados en el apartado anterior mediante la herramienta para el análisis cinemático de la rodilla en el plano sagital en niños con Parálisis Cerebral mediante el uso del Kinect y Procesamiento de Imágenes, desarrollada y el laboratorio de la marcha del INR con la finalidad de validar cuan precisa es la primera al ser comparada con la mejor tecnología de análisis de la marcha en manos del INR.

En primer lugar, se gestionó el permiso de uso de las instalaciones y tecnología del laboratorio de la marcha del INR y se desplego la herramienta para el análisis cinemático de la rodilla en el plano sagital en niños con Parálisis Cerebral mediante el uso del Kinect y Procesamiento de Imágenes, junto con todos los hardware necesarios para su funcionamiento. Luego se hicieron pruebas para verificar que esté listo para usarse. Segundo, se convocó a los participantes para el día del experimento y se gestionó la disponibilidad de la vestimenta necesaria como pantalones cortos, marcadores, etc.

Llegado el momento del experimento y con todas las precondiciones listas, se solicitó a los participantes realizar las series de desplazamiento descritas y siguiendo las indicaciones en el apartado anterior, luego de colocarles los marcadores cuya posición fue registrada por la herramienta y los dispositivos del laboratorio de la marcha.

Finalmente, las imágenes recolectadas fueron procesadas por las librerías de OpenCV, la permitiendo identificar visualmente los marcadores en pantalla. Estos son segmentados lo cual permite conocer su posición exacta lo que posibilita el cálculo del ángulo que forman los 3 marcadores. Este procedimiento es aplicado para cada imagen detectada durante un ciclo de marcha del voluntario con lo que obtiene una colección de ángulos que forman una curva que indica como varían dichos ángulos.

4.5 Validación

4.5.1 Diseño de la Validación

Para describir el rendimiento del proyecto fue necesario definir indicadores antes y después de la implementación. En base a los indicadores definidos, se determinó si los resultados han sido logrados satisfactoriamente. Si no han sido logrados, permite evaluar el progreso realizado. Asimismo, Para poder realizar esta validación se tuvo que trabajar al mismo nivel de frecuencia, tanto para las cámaras Vicon del laboratorio de la marcha del INR como para la herramienta propuesta en el presente estudio. Se igualaron a 30 Hz de frecuencias para ambas herramientas para poder hallar el error promedio por el método de comparación punto a punto. Las cámaras Vicon trabajan a una frecuencia mínima de 60Hz y para emparejarlo o disminuir su frecuencia 30Hz se tomaron muestras intercaladas para así realizar la comparación de resultados.

4.5.2 Indicadores

Para la validación de los indicadores del proyecto se basaron en medidas cuantitativas y cualitativas que varían de acuerdo a rangos establecidos:

Los valores de los indicadores cuantitativos van a variar de 0 al 100 %

Los valores de los indicadores cualitativos van a variar entre muy malo, malo, regular, bueno y muy bueno.

Se propone un conjunto de indicadores para medir el desempeño de las actividades desarrolladas en el proyecto debido a su importancia para la organización.

Tipos de Indicadores	Indicadores
Cuantitativo	1. Porcentaje de niños con necesidad de atención de la marcha por mes 2. Rendimiento del análisis de la marcha por mes
Cualitativo	1. Grado de satisfacción del usuario en la toma de requerimientos-comunicación con el equipo del proyecto 2. Grado de satisfacción del usuario respecto al producto final-producto final del proyecto 3. Grado de satisfacción del usuario respecto al desempeño de equipo del proyecto

Tabla 1. Indicadores del proyecto

4.5.3 Resultados

Las medidas obtenidas de los indicadores se recopilaron en base a la información de la organización, los cuales se muestran en la tabla 2.

Indicadores	Primera medición	Segunda medición
Cuantitativo 1	66,66%	47.91%
Cuantitativo 2	55.88%	67.74%
Cualitativo 1	Regular	Muy bueno
Cualitativo 2	Regular	Bueno
Cualitativo 3	Regular	Muy bueno

Tabla 2. Medidas de indicadores

5. Conclusiones

Los actuales sistemas de evaluaciones de los miembros inferiores de la marcha considerados por centros neurológicos en el Perú se basan en diagnósticos observacionales y manuales, en el cual interviene el criterio del especialista que está evaluando. El presente estudio puede contribuir considerablemente en ofrecer una herramienta de apoyo con datos exactos para una mejor toma de decisiones

La utilización de esta herramienta fue realizada en simultáneo con el laboratorio de la marcha del INR y demostró que puede ser adecuado para ser considerado como un diagnóstico clínico., Además, pudo ser aplicado en 5 personas con marcha normal con el propósito de validar su uso con pacientes con parálisis cerebral infantil.

En conclusión, el Kinect es una buena alternativa de bajo costo, que contribuye a la captura de ángulos específicos durante el análisis cinemático de la rodilla de niños con PC en 2D y que puede ser utilizado como diagnóstico clínico contribuyendo con una mejor toma de decisiones en estrategias de rehabilitación física.

6. Referencias

- Alankus, G., Proffitt, R., Kelleher, C., & Engsberg, J. (2010). Stroke therapy through motion-based games: A case study. In Proceedings of the 12th international ACM SIGACCESS conference on computers and accessibility (pp. 219–226).
- An, Q.; Ishikawa, Y.; Nakagawa, J.; Kuroda, A.; Oka, H.; Yamakawa, H.; Yamashita, A.; Asama, H. Evaluation of wearable gyroscope and accelerometer sensor (PocketIMU2) during walking and sit-to-stand motions. In Proceedings of the 2012 IEEE RO-MAN, Paris, France, 9–13 September 2012; pp. 731–736.
- Clark, R.A., Pua, Y.H., Fortin, K., Ritchie, C., Webster, K.E., Denehy, L., Bryant, A.L., 2012. Validity of the Microsoft Kinect for assessment of postural control. *Gait and Posture* 36, 372–377.
- Clark, R.A., Bower, K.J., Mentiplay, B.F., Paterson, K., Pua, Y.H., 2013. Concurrent validity of the Microsoft Kinect for assessment of spatiotemporal gait variables. *J. Biomech.* 46, 2722–2725.
- Clark, R.A., Vernon, S., Mentiplay, B.F., Miller, K.J., McGinley, J.L., Pua, Y.H., Paterson, K., Bower, K.J., 2015. Instrumenting gait assessment using the Kinect in people living with stroke: Reliability and association with balance tests. *J. Neuroeng. Rehabil.* 12, 1–9.
- Chang YJ, Chen SF, Huang JD. A Kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities. *Res Dev Disabil* 2011; 32: 2566-2570.
- Gabel M, Gilad-Bachrach R, Renshaw E, Schuster A. Full body gait analysis with kinect. In: Proceedings of 34th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society; 2012.
- B. Galna, G. Barry, D. Jackson, D. Mhiripiri, P. Olivier, L. Rochester, Accuracy of the Microsoft Kinect sensor for measuring movement in people with Parkinson's disease, *Gait Posture* 39 (2014) 1062–1068.
- Gambi, E.; Spinsante, S. Video based movement analysis for automated Get Up and Go test. In Proceedings of the 3rd Young Researchers' and PhD Workshop, AAL Forum, Lecce, Italy, 26–28 September 2011.
- Gil-Gómez, J. A., Lloréns, R., Alcaniz, M., & Colomer, C. (2011). Effectiveness of a Wii balance board-based system (eBaViR) for balance rehabilitation: A pilot randomized clinical trial in patients with acquired brain injury. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 8(30), 1–9.
- Jain, H.P.; Subramanian, A. Real-time Upper-body Human Pose Estimation using a Depth Camera; Technical Report HPL-2010-190; HP Laboratories, Palo Alto, CA, USA, 21 November 2010.
- Khoshelham K, Elberink SO. Accuracy and resolution of Kinect depth data for indoor mapping applications. *Sensors* 2012; 12: 1437–54.
- Lohmann, O.; Luhmann, T.; Hein, A. Skeleton Timed Up and Go. In Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM), Philadelphia, PA, USA, 4–7 October 2012; pp. 1–5.
- J.L. Raheja, A. Chaudhary, K. Nandhini, S. Maiti, Pre-consultation help necessity detection based on gait recognition, *Signal Image Video Process.* 8 (2014) P1–P7.
- Shih, C. H., Chang, M. L., & Shih, C. T. (2010a). A new limb movement detector enabling people with multiple disabilities to control environmental stimulation through limb swing with a gyration air mouse. *Research in Developmental Disabilities*, 31, 875–880.
- Stone, E.E., Skubic, M., 2011. Passive in-home measurement of stride-to-stride gait variability comparing vision and Kinect sensing. In: Proceedings of IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 6491–6494.

Vernon, S., Paterson, K., Bower, K., McGinley, J., Miller, K., Pua, Y.H., Clark, R.A., 2015. Quantifying individual components of the timed up and go using the Kinect in people living with stroke. *Neurorehabilit. Neural Repair* 29, 48–53.

Yen CY, Lin KH, Hu MH, Wu RM, Lu TW, Lin CH. Effects of virtual reality-augmented balance training on sensory organization and attentional demand for postural control in people with Parkinson disease: A randomized controlled trial. *Phys Ther* 2011; 91: 862-874.

Zhu, Y.; Dariush, B.; Fujimura, K. Controlled human pose estimation from depth image streams. In *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, CVPRW '08*, Anchorage, AK, USA, 23–28 June 2008; pp. 1–8.