

Evaluación y análisis visual de la postura corporal en pacientes con prótesis o dispositivos ortopédicos en los miembros inferiores

Visual assessment and analysis of body posture in patients with prostheses or orthopedic devices in the lower limbs

Mauricio Orlando Gómez*  y Carlos Filiberto Alfaro 

Universidad Don Bosco, El Salvador
Calle a Plan del Pino Km 1 1/2. Ciudadela Don Bosco, CP 1874, Soyapango, El Salvador, CA.
*mauricio.gomez@udb.edu.sv

PALABRAS CLAVE: RESUMEN

Ortesis, Prótesis, realidad aumentada, postura corporal

La evaluación de la postura corporal para pacientes con órtesis o prótesis en las extremidades inferiores es una técnica importante en el campo de la rehabilitación y la medicina física que junto con los avances en la interacción que se tiene con un computador a través de la realidad aumentada (RA) y sus aplicaciones son cada vez más notables. Aplicando elementos de RA y utilizando un dispositivo de captura de movimiento, se ha desarrollado un sistema que presenta y almacena la postura corporal de pacientes que utilizan órtesis o prótesis y que permite la valoración de la postura a través de herramientas virtuales, para poder estipular el procedimiento más adecuado para su rehabilitación. Esto va a ayudar a los profesionales de la salud a comprender y analizar la forma en que los pacientes se posicionan y se mueven, lo que a su vez puede influir en el diseño y ajuste de las órtesis o prótesis, así como en el desarrollo de planes de tratamiento personalizados.

KEYWORDS: ABSTRACT

Orthoses, prostheses, augmented reality, body posture

The evaluation of body posture of patients with orthoses or prostheses in the lower extremities is an important technique in the field of rehabilitation and physical medicine that, together with advances in the interaction with a computer through augmented reality (AR) and its applications are becoming more and more remarkable. By applying AR elements and using a motion capture device, a system has been developed that presents and stores the body posture of patients using orthoses or prostheses and allows posture assessment through virtual tools, in order to stipulate the most appropriate procedure for their rehabilitation. This will help healthcare professionals understand and analyze how patients position and move, which in turn can influence the design and fitting of orthoses or prostheses, as well as the development of personalized treatment plans

• Recibido: 3 de noviembre de 2023 • Aceptado: 5 de abril de 2024 • Publicado en línea: 1 de febrero de 2025

1. MARCO CONCEPTUAL

Existen varias formas de evaluar la postura corporal en pacientes con órtesis o prótesis

en las extremidades tanto superiores como inferiores. Algunas de las técnicas más comunes utilizadas incluyen:

- **Observación visual:** Los profesionales de la salud pueden realizar una evaluación visual [1] de la postura y el movimiento del paciente. Esto implica observar cómo se posiciona el paciente al estar de pie, caminar o realizar actividades específicas. La observación visual puede proporcionar información útil sobre el alineamiento corporal, el equilibrio y la simetría.
- **Análisis de la marcha:** El análisis de la marcha utiliza sistemas de captura de movimiento, como cámaras o sensores, para registrar y analizar el patrón de movimiento durante la marcha. Estos sistemas pueden identificar alteraciones en la postura, la distribución del peso y la cinemática de las extremidades inferiores. [2].
- **Plataformas de fuerza:** Las plataformas de fuerza son dispositivos sensibles que miden las fuerzas ejercidas por el paciente mientras está de pie o camina. Estas plataformas pueden ayudar a evaluar el equilibrio, la estabilidad y la distribución del peso en los pies [3].
- **Electromiografía (EMG):** La EMG es una técnica que registra la actividad eléctrica de los músculos. Puede utilizarse para evaluar la función y la activación musculares durante diferentes movimientos. En el caso de pacientes con órtesis o prótesis en las extremidades inferiores, la EMG puede ser útil para evaluar cómo se activan los músculos y cómo interactúan con la prótesis o la órtesis. Sistemas de sensores inerciales: Estos sistemas utilizan sensores inerciales, como acelerómetros y giroscopios, para medir la orientación y el movimiento del cuerpo. Estos sensores se colocan en diferentes partes del cuerpo y proporcionan información sobre la postura, la inclinación y el movimiento angular de las extremidades [4].

Una vez capturada la postura corporal, los profesionales de la salud pueden evaluar los datos obtenidos y utilizarlos para ajustar y mejorar el diseño de las órtesis o prótesis, así como para desarrollar planes de

tratamiento individualizados. Esto puede incluir modificaciones en el ajuste de la órtesis o prótesis, ejercicios de fortalecimiento o estiramiento específicos, o recomendaciones para mejorar la biomecánica y la postura. Es importante destacar que la captura y evaluación de la postura corporal para pacientes con órtesis o prótesis debe ser realizada por profesionales de la salud capacitados en el uso de las técnicas y los equipos adecuados.

Se tienen diversas definiciones para el término postura, según Martín Cech, la postura se define de forma variable como una actitud o una posición del cuerpo [1], con más de detalle, Víctor Chang la define como la posición de todo el cuerpo o de un segmento del cuerpo en relación con la gravedad, resultado del equilibrio entre las fuerzas musculares gravitatorias y anti gravitatorias [5].

En este artículo se define postura como la posición o alineación de cada uno de los segmentos corporales según las líneas de gravedad (o de plomada) en los planos frontal y sagital, donde la línea de gravedad (LDG) pasa por puntos de referencia anatómicos determinados en cada uno de estos planos.

La localización de la LDG en el cuerpo humano que permanece en bipedestación erecta se ha evaluado mediante diversas metodologías, incluyendo el análisis con rayos X, el análisis sobre plataforma de fuerzas y la inmersión gradual en agua. El consenso alcanzado es que, en lo que refiere al adulto normal, la LDG debe presentar idealmente una intersección con el plano sagital en los puntos siguientes:

- La apófisis mastoides (a través del lóbulo de la oreja).
- Inmediatamente por delante de la articulación del hombro.
- Inmediatamente por detrás de la articulación de la cadera.
- Inmediatamente por delante de la articulación de la rodilla.

- Inmediatamente por delante de la articulación del tobillo.

En el plano frontal la LDG debe interceptar con el plano en los siguientes puntos, desde una vista posterior:

- Protuberancia occipital.
- Apófisis espinosa de la VII vértebra cervical.
- Pliegue o línea Interglútear.
- Punto medio entre superficies internas de la rodilla.
- Punto medio entre los talones.

La importancia de evaluar la postura corporal radica en que, ésta, mantiene un adecuado equilibrio de la fuerza muscular y la correcta alineación de los segmentos óseo articulares. Una adecuada postura es la base para un gasto energético equilibrado.

El **uso de tecnologías de realidad aumentada** viene a aportar un elemento práctico y funcional en la captura y la evaluación de la postura humana, la Realidad Aumentada (RA) consiste en sobreponer objetos o animaciones generadas por una computadora sobre una imagen en tiempo real que recoge una cámara de video [6]. De esta manera podemos "aumentar" en la pantalla, la realidad que mira la cámara con los elementos de una realidad virtual, en términos más simples: "Es el entorno real mezclado con lo virtual".

A diferencia de la realidad virtual, la RA es una tecnología que complementa la percepción e interacción con el mundo real y permite al usuario estar en un entorno aumentado con información generada por una computadora.

1.1. DISPOSITIVO DE CAPTURA DE MOVIMIENTO

Existen en el mercado multitud de dispositivos de captura de movimientos, pero para este estudio se utilizará Microsoft Kinect versión Windows [3], Las posturas y

amplitudes articulares de los pacientes evaluados, se miden por medio del uso de un dispositivo electrónico controlado por software que es capaz de reconocer voz, gestos y movimientos por medio de un sistema sofisticado de captura de movimientos que consta de tres cámaras, múltiples sensores y algoritmos patentados.

El dispositivo captura la posición tridimensional y movimiento de 20 articulaciones del paciente ubicado frente a él, luego con los datos obtenidos reproduce y refleja la situación correspondiente en la pantalla del computador.

1.2. PLATAFORMA Y LENGUAJE DE DESARROLLO DE SOFTWARE

Microsoft, ofrece soporte para el desarrollo del dispositivo a través de su plataforma de programación .NET, además de contar con un amplio soporte y ejemplos de ayuda integrados en el Kinect Developed Toolkit. La plataforma de programación .NET permite programar el Kinect en los lenguajes de programación Visual Basic, C++ y en C#, éste último seleccionado en el desarrollo del sistema de captura y evaluación de postura por su integridad con Windows Presentation Foundation y código Xaml, tecnologías que ofrecen facilidad para crear interfaces graficas con contenido multimedia.

Es importante mencionar que, a partir de septiembre de 2021, Microsoft anunció que dejaría de producir el Kinect, sin duda el legado seguirá y ha dejado su huella.

1.3. KIT DE DESARROLLO DE SOFTWARE

Adicional a la plataforma de desarrollo y el lenguaje de programación que permiten programar e interactuar con el hardware del dispositivo de captura de movimiento Kinect, también existe el SDK (kit de desarrollo de software) para Kinect, un conjunto de herramientas de desarrollo de software (librerías, funciones, módulos, etc.) que permiten crear y manipular aplicaciones con

cierta facilidad para el este dispositivo. En este proyecto se desarrolló con la versión 1.7 del SDK para Kinect, el cual facilitó el reconocimiento de las articulaciones corporales a través del módulo Kinect Skeletal Tracking [7].

2. CAPTURA DE POSTURA CORPORAL

Existen métodos manuales para registro y valoración de las posturas corporales, que requieren de la intervención física de objetos y de un evaluador, lo cual implica que el evaluador se debe concentrarse en analizar la postura en el mismo momento de evaluación, y esto dificulta el registro de la información, o bien analizar luego una fotografía tomada, pero sin ningún tipo de parámetro o protocolo de realización. Entre los métodos manuales más conocidos se tienen: método de plomada (Fig. 1-a), Análisis de fotografía superponiendo líneas para comparación (Fig. 1-b), laser (Fig. 1-c), entre otros.



Figura 1. Métodos manuales de valoración de postura.

Con el fin de determinar la postura real de pacientes y sustituir los métodos manuales de evaluación por un equipo electrónico de captura de movimiento, en donde también se pueda llevar registro organizado y digital de las capturas para cada paciente, en la Universidad Don Bosco se ha desarrollado el

Sistema de Análisis de Postura R+ (SAPR+), un software basado en una arquitectura cliente-servidor que permite observar en tiempo real y capturar en un lapso de tiempo determinado la postura del paciente, luego digitalizar y almacenar esa información en un servidor de datos remoto para su posterior evaluación.

Este software es capaz de capturar posturas frontales, sagitales y posteriores, dicho proceso se hace con la cámara de video del Kinect enfocando al paciente y sobreponiendo información aumentada sobre la imagen en movimiento, en donde se dibujan con puntos verdes las articulaciones y líneas amarillas los huesos del paciente (Fig. 2).

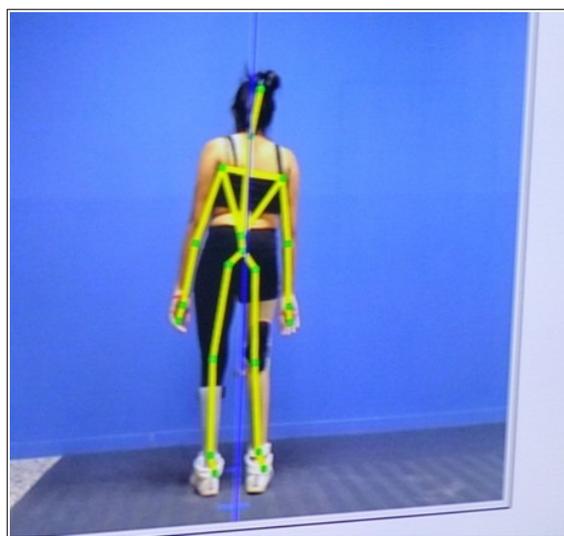


Figura 2. Captura de postura posterior en SAPR+.

En este sistema una captura consiste en la lectura promedio de las posiciones tridimensionales de las articulaciones en un tiempo determinado por el evaluador. El evaluador también determina la posición corporal a capturar, la cual puede ser una postura frontal, posterior, sagital izquierda o sagital derecho. Para cada caso el software dibuja puntos de articulaciones y líneas de huesos acorde a la posición seleccionada.

En la figura 2 se observa el reconocimiento de la posición posterior, luego en la figura 3-a

y 3-b un ejemplo de las posiciones frontal y sagital izquierdo respectivamente.

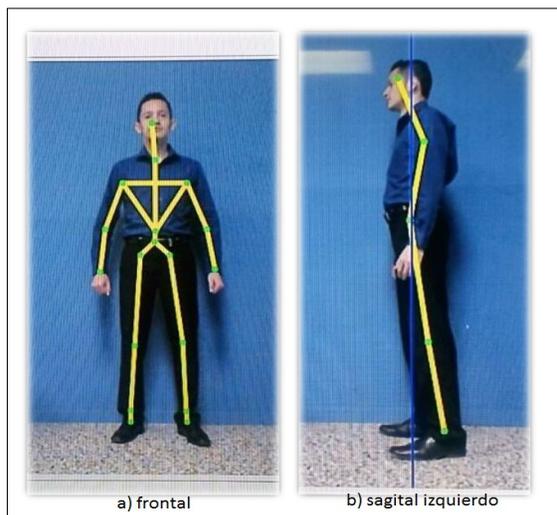


Figura 3. Reconocimiento de posiciones corporales.

3. EVALUACIÓN DE POSTURA

Con SAPR+ se puede realizar la evaluación de la postura de un paciente en dos momentos con situaciones diferentes. En un momento previo a la captura y almacenamiento de la postura, en donde el técnico evaluador o quien utiliza el sistema puede incluir elementos de realidad aumentada (cuadrícula y LDG), que se da en una situación de tiempo real de la lectura del Kinect sobre el cuerpo del paciente, para este caso se puede elegir con transmisión o sin la transmisión de la cámara de video del dispositivo de captura.

En la Figura 2 se puede observar el reconocimiento de las articulaciones y el trazo de LDG sobre la séptima vértebra cervical, la transmisión de video de la cámara está activada por lo que se puede apreciar la transposición del dibujo virtual sobre el cuerpo del paciente, caso distinto en la Figura 4, donde la transmisión de video esta desactivada y se visualiza un fondo negro con una cuadrícula y el dibujo del esqueleto de la postura del paciente.

El otro momento en que se puede realizar

una evaluación es posterior a la captura, en donde el sistema ofrece al evaluador una imagen en situación estática para su evaluación.

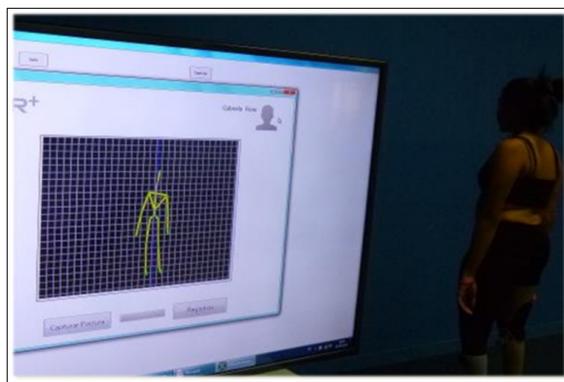


Figura 4. Postura con cuadrícula y sin transmisión de video.

La imagen consiste en el dibujo de las articulaciones y líneas de hueso según a la posición que corresponda la captura, es decir, un dibujo de la postura corporal del paciente previamente capturado, con lo cual se puede comparar alturas entre parejas de puntos de articulaciones, trazar LDG, dibujar cuadrículas, trazar líneas horizontales y verticales en cualquier área de la imagen para medir niveles entre puntos articulares. La idea de todo esto es dar al evaluador un conjunto de herramientas virtuales e información sobre la captura que le permitan hacer y almacenar una valoración objetiva y técnica de la condición de la postura del paciente para estipular el procedimiento más adecuado para su rehabilitación.

4. DESARROLLO DE SISTEMA Y PRUEBAS CON PACIENTES

Luego de una investigación de métodos y herramientas existentes para la captura y valoración de postura corporal, surgen ideas para el diseño del software. SAPR+ [8] fue desarrollado utilizando una metodología Ágil, este proceso se fundamentó en documentos de bosquejos de pantallas y flujos del manejo de eventos del software.

Para la depuración y evaluación del software se han realizado sesiones de pruebas en pacientes con órtesis y prótesis en extremidades inferiores. Dichas pruebas han sido pieza clave para la mejora del sistema y sobre todo para un punto muy crítico en este proyecto de investigación, el de validar la capacidad y precisión del dispositivo junto con el software para capturar la postura corporal.

Parte de las pruebas consistieron en comparar datos devueltos por el sistema contra datos capturados por técnicos especialistas con métodos manuales (ver figura 5), y este aparte de validar la captura por especialistas, también contribuyó a definir las herramientas del sistema para la evaluación de la postura [9].



Figura 5. Comparación entre métodos, manual y computacional.

En la figura 6, se puede apreciar dos momentos diferentes en la toma de captura, en donde, la imagen de la izquierda (a) muestra la captura inicial en el sistema, posteriormente el técnico evaluador, remite una serie de ejercicios para poder mejorar la postura, luego de un periodo determinado de tiempo, el paciente se realiza una nueva captura, la cual se muestra en la imagen de la derecha (b) y se nota una mejoría en la postura del paciente.

A fin de contar con un elemento que permita mostrar los resultados de la

evaluación del paciente, de una forma más permanente se diseñó un reporte en el cuál se puedan reflejar elementos tomados de las evaluaciones realizadas.



Figura 6. Comparación de posturas en diferentes momentos.

El reporte permite comparar entre dos evaluaciones realizadas, en la misma vista (sagital derecho, sagital izquierdo, frontal, posterior) o inclusive entre dos vistas distintas.

El procedimiento consiste en cargar la primera evaluación que se desea incluir en el reporte (ver Fig. 7).

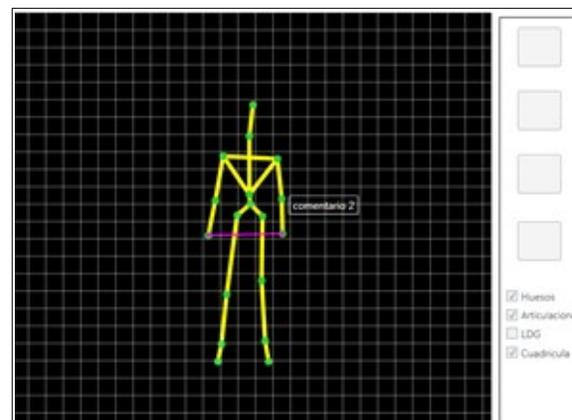


Figura 7. Selección de capturas.

Después se selecciona otra evaluación dentro de la misma postura o incluso a una evaluación en otra postura; al identificar el segundo elemento del reporte se procede a crearlo (Fig. 8).

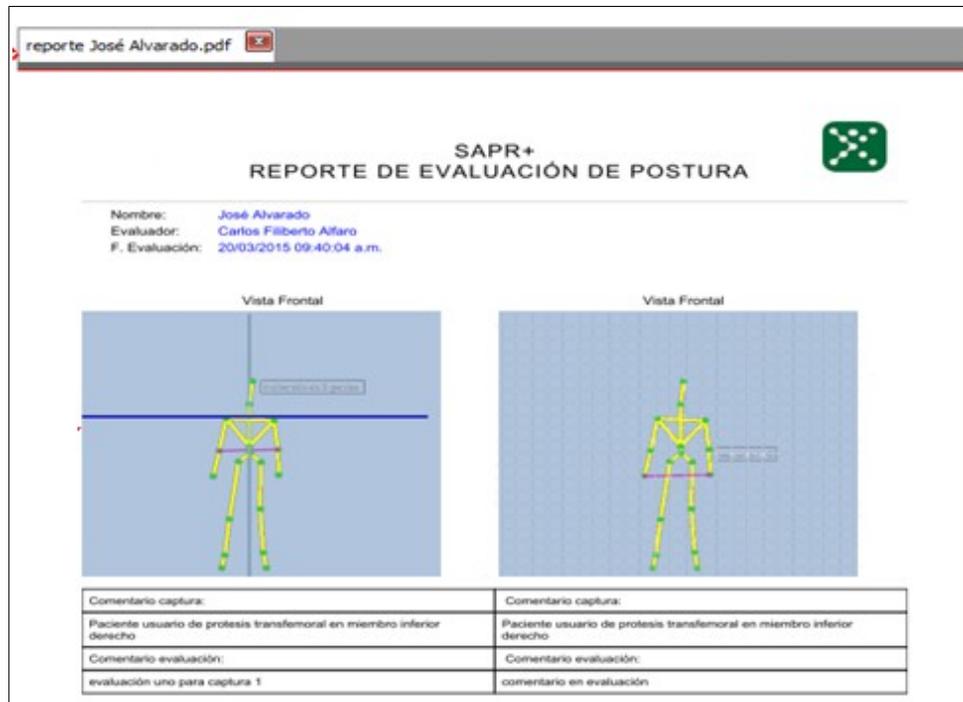


Figura 8. Vista de reporte generado.

Al final los técnicos de la Universidad Don Bosco, piensan que es muy temprano para estimar cuanto va a mejorar los tiempos de recuperación, pero nos dan un buen augurio de que al tener este tipo de tecnologías habrá más certeza en los diagnósticos y sin duda los tiempos se verán mejorados, en las pruebas realizadas con los 5 pacientes que nos permitieron usar sus imágenes, dos de ellos ya están pasando a la fase de adaptación y los otros están en el proceso de mejora, hubo un leve deceso en los tiempos de trabajo ya que las imágenes contribuyeron a que los pacientes estuvieran más conscientes de su recuperación y de cómo van progresando y eso los motivó a seguir viniendo a sus terapias.

5. CONCLUSIONES

El uso de la realidad virtual y su interacción con sensores y dispositivos móviles permite las capturas de movimientos tales como la marcha, que ayudan a elevar la calidad del diagnóstico en pacientes con problemas de postura corporal o que requieren de tratamientos correctivos por factores como

la mala postura o la introducción de ortesis o prótesis producto de accidentes o deformaciones en sus miembros inferiores, con el fin de tomar decisiones para mejorar su calidad de vida.

La mayor parte del proceso de valoración de la postura de un paciente depende de los recursos con los que cuenta el evaluador, si este cuenta con un sistema como el propuesto podrá no solo mejorar el diagnóstico sino también los posibles tratamientos que nos den un récord que en algunos años le permita al sistema ser capaz de comparar la postura capturada contra estándares o posturas ideales, pero que hoy en día ofrece al evaluador un conjunto de herramientas y posibilidades para que haga una valoración técnica y precisa, que puede ser almacenada para futuras consultas.

En el reconocimiento de la postura corporal, la herramienta utilizada presenta deficiencia respecto a la precisión en la detección de puntos cercanos a la cadera. Sin embargo, según las pruebas realizadas y la apreciación de expertos, la utilización de este dispositivo ofrece una buena aproximación a la postura

real de la persona.

Una vez capturadas las imágenes de las posturas corporales, los profesionales de la salud pueden evaluar los datos obtenidos y utilizarlos para ajustar y mejorar el diseño de las ortesis o prótesis, así como para desarrollar planes de tratamientos individualizados, esto puede incluir modificaciones en el ajuste de las prótesis u ortesis, ejercicios de fortalecimiento o estiramiento específico o recomendaciones para mejorar la biomecánica y postura.

Es importante destacar que la captura y evaluación de la postura corporal para los pacientes con ortesis y prótesis debe ser realizada por profesionales de la salud capacitados en el uso de las técnicas y los equipos especializados.

REFERENCIAS

- [1] López Palma A, Benítez Hurtado X, Leon Ron M, Maji Mozo P, Dominguez Montoya D, Baez Quiñónes VD. La observación. Primer eslabón del método clínico. *Revista Cubana de Reumatología*. 2019;21(2):e94. Disponible en: <https://revreumatologia.sld.cu/index.php/reumatologia/article/view/730>.
- [2] Villa Moreno A, Gutiérrez Gutiérrez E, Pérez Moreno JC. Consideraciones para el análisis de la marcha humana. Técnicas de videogrametría, electromiografía y dinamometría - Considerations for human gait analysis. *Revista Ingeniería Biomédica*. 2008;2(3):16-26. doi: [10.24050/19099762.n3.2008.39](https://doi.org/10.24050/19099762.n3.2008.39).
- [3] Altamira Colado E, León M, Zazueta G. *Electromiograma (EMG)* [Reporte Técnico]. Mexicali, Baja California, México: Depto. de Bioingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California; 2017 Sep. doi: [10.13140/RG.2.2.19996.80004](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19996.80004).
- [4] Instituto Politécnico Nacional. *Realidad aumentada* [Internet]. Disponible en: <http://www.cedicyt.ipn.mx/RevConversus/Paginas/RealidadAumentada.aspx> [Accedido el 30 de junio de 2014].
- [5] Microsoft. *Comunicaciones multimodales con Kinect* [Internet]. 2012 May. Disponible en: <http://msdn.microsoft.com/es-es/magazine/hh975374.aspx> [Accedido el 7 de julio de 2014].
- [6] Microsoft. *Skeletal Tracking* [Internet]. Disponible en: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh973074.aspx> [Accedido el 7 de julio de 2014].
- [7] Chang V. *Fundamentos de Medicina de*

Rehabilitación. Costa Rica: Editorial Universidad de Costa Rica; 2007.

- [8] Ochoa CO, Valencia JV, Córdova JL, López AO, Ortiz MM. Análisis de marcha mediante plataforma Kinect. *La Investigación y las Aplicaciones en Ciencias de la Computación*. FCC-BUAP. Puebla, México; 2011:17-21.
- [9] Borgogno Mondino EC. Considerazioni su costi e mercato potenziali del telerilevamento da SAPR in Italia nel settore vitivinicolo. En: *Atti dell'11° Workshop tematico di Telerilevamento-OSSERVAZIONE DELLA TERRA*. ENEA; 2017. p. 9-12.

ACERCA DE LOS AUTORES



Carlos Filiberto Alfaro. Graduado de Ingeniero en Ciencias de la Computación con estudios de postgrados en la Universidad Don Bosco obteniendo el título de Maestro en Arquitectura de Software. Estancia de investigación en la Universidad de Queens en Canadá colaborando en el proyecto de investigación: Desarrollo e implementación de una interface de usuario interactiva y un módulo de entrenamiento para el sistema de simulación de juego de billar ARPool utilizando metodologías de desarrollo ágil. Desempeñado en cargos como Director de Maestría en Seguridad y Gestión de Riesgos Informáticos, Director Académico de Laboratorio de Informática y actualmente como Jefe de Depto. De Servicios de TI en la Universidad Don Bosco.



Mauricio Orlando Gómez. Graduado de Ingeniero en Electrónica con estudios de postgrados en la Universidad Católica de Ávila, España obteniendo el título de Maestro en Automatización

industrial, con certificación internacional en programación de robot industrial por FESTO DIDACTIC, Alemania. Estancia de investigación en la Universidad Evangélica de El Salvador, colaborando en el proyecto de investigación: Desarrollo e implementación

de rehabilitación de pacientes de miembros superiores con problemas de ortesis y prótesis con robot colaborativos.

Desempeñado en cargos como Docente de investigación en el Instituto de Investigación e Innovación en electrónica de la Universidad Don Bosco, docente de Autómatas programables, Sistemas Digitales, Programación de Robots Industriales y en Maestría en Seguridad y Gestión de Riesgos Informáticos en la Universidad de El Salvador.

.