

Caracterización de ejercicios fisioterapéuticos para rehabilitación de hombro mediante videogrametría

Characterization of physiotherapeutic exercises for shoulder rehabilitation using videogrammetry

Alexander Reyes Cruz,^{id} Juan Alfonso Beltrán Fernández*,^{id} Luis Héctor Hernández Gómez,^{id} Irving Omar Cazares Ramírez,^{id} Rodrigo Vázquez Machorro,^{id} y Juan Atonal Sánchez^{id}
SEPI-ESIME- Zacatenco, Instituto Politécnico Nacional - IPN, México

Resumen. En el desarrollo de este trabajo se aplican las bases de la biomecánica del hombro para el análisis de su cinemática, describiendo sus grados de libertad y su movimiento, así mismo se realizó un modelo matemático, considerando al brazo como una cadena cinemática abierta. La caracterización del movimiento del brazo se realizó mediante videogrametría, con ayuda de un programa desarrollado en Matlab[®]. La medición de los movimientos se realizó a dos personas sanas sin lesiones, utilizando marcadores colocados en puntos estratégicos, los movimientos medidos fueron de abducción-aducción y flexión-extensión, una vez tomado el video se analizó en el programa para registrar los resultados cinemáticos. Estos últimos fueron medidos en grados contra tiempo, y observando la diferencia de movimientos entre ambas personas.

Palabras Claves. Videogrametría, biomecánica, hombro, cinemática.

Abstract. In the progress of this paper, the base for the biomechanics of the shoulder is employed for the study of its kinematics, defining its degrees of freedom and its motion. In the same manner, a mathematical model of kinematics was created, regarding the arm as an open kinematic chain. The definition of the movement of the arm was completed through videogrammetry, with the assistance of a program which happened to be developed on Matlab[®]. The measurement of the movements was completed on two healthy, uninjured individual, using markers that were placed on strategic spots, the measured movements were abduction-adduction and flexion-extension movements. Once the video was taken, the program was studied so that kinematic results could be obtained. The results that are revealed on this work are measured in angles versus time, observing the difference in the movements between both subjects.

Keywords. Videogrammetry, biomechanics, shoulder, kinematics.

Como citar. A. Reyes Cruz *et al.*, "Caracterización de ejercicios fisioterapéuticos para rehabilitación de hombro mediante videogrametría", *Jou. Cie. Ing.*, vol. 11, no. 1, pp. 25-40, 2019. doi: 10.46571/JCI.2019.1.3

* jbeltranf@hotmail.com

1. Introducción

Hoy en día las discapacidades de movimiento, que afectan las extremidades del ser humano van en aumento, y así como estas, el desarrollo de tecnologías que permiten dar una mejor atención y rehabilitación, de igual manera tecnologías que permitan la personalización de rehabilitación o diseño de prótesis adecuadas a las necesidades de cada individuo.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define la fisioterapia como “el arte y la ciencia por medio del ejercicio terapéutico, calor, frío, luz, agua, masaje y electricidad que tiene como fin prevenir, readaptar y rehabilitar al paciente susceptible del tratamiento físico.” Por lo que se puede entender que la fisioterapia es una disciplina de atención hacia las personas con la finalidad de desarrollar, mantener y restaurar el máximo movimiento y la habilidad funcional a lo largo de la vida, identificando y maximizando el potencial de movimiento mediante la prevención, tratamiento y rehabilitación, dicha disciplina implica la interacción entre el fisioterapeuta y el paciente [1, 2].

Son innegables los buenos resultados de la fisioterapia tradicional, pero también es sabido que estos son inconsistentes. Esta inconsistencia y en algunas ocasiones malos resultados, radica en que la fisioterapia está fundamentada parcialmente en aspectos teóricos, en la formación y la experiencia del fisioterapeuta, quienes realizan ejercicios manuales y repetitivos de tiempos de duración considerablemente largos, y al ser tareas desarrolladas por seres humanos estas también dependen no solo de su experiencia y preparación, sino también de su estado de ánimo y su estado físico mental (cansancio, estrés), por lo que es evidente que los resultados varíen en cada hospital y en los pacientes atendidos por cada fisioterapeuta [3, 4].

Desde mediados de los años 80s, se han desarrollado trabajos de investigación que buscan la mejora en la rehabilitación humana, estas nuevas técnicas de rehabilitación involucran dispositivos robóticos mayormente fundamentados en la intervención humana. Es evidente que los robots poseen ciertas ventajas sobre algunas tareas que realizan los humanos, sobre todo en tareas de manipulación que involucren repetitividad. Su precisión y repetitividad les han permitido incursionar con mayor frecuencia en el sector industrial [5, 6].

En México según el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), aproximadamente el 10 % de la población general de adultos experimenta un episodio de dolor de hombro en su vida, según el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática de México (INEGI), el 10 % de la población sufre alguna discapacidad, siendo lesiones de hombro, codo, o fracturas de brazo y antebrazo una de las lesiones que con mayor frecuencia se presenta dentro de la población [7, 8].

En el presente trabajo se presenta una introducción a la biomecánica del hombro, con la finalidad de estudiar sus grados de libertad y los movimientos del brazo, los cuales serán representados mediante un modelo cinemático de un brazo de 3 grados de libertad, una descripción de la videogrametría, y la caracterización de movimientos del brazo humano.

2. Biomecánica de miembro superior

El miembro superior o también conocida como extremidad superior del cuerpo humano inicia en los hombros, y se fija a la parte superior del tronco. Se compone de los siguientes cuatro segmentos: cintura escapular, hombro, brazo, antebrazo y mano (figura 1). El miembro superior es la extremidad en la cual se presenta la mayor movilidad de todo el cuerpo humano y tiene la capacidad para sujetar y manipular. En total tiene 33 huesos y 42 músculos [9].

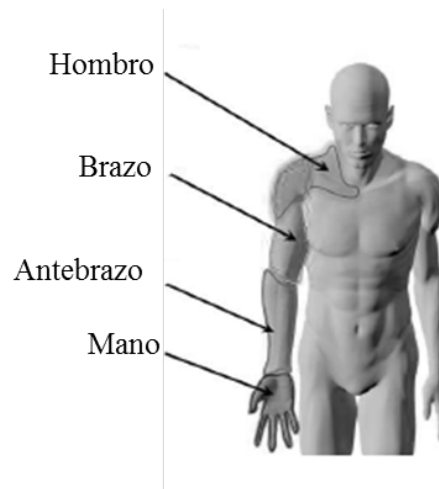


Figura 1: Partes del miembro superior.

La unión entre el miembro antes mencionado y el tronco del cuerpo humano se realiza mediante ligamentos, tendones y diferentes grupos de músculos. Estos últimos se encuentran inervados mediante el sistema nervioso periférico, el cual detecta y controla la movilidad y la fuerza.

El hombro es una articulación que contiene una gran amplitud de movimientos, ya que existen diferentes posiciones y planos de movimiento que se pueden medir. Por ejemplo, el movimiento de flexo-extensión del hombro solo puede alcanzarse con un movimiento compuesto que incluye una ligera rotación externa y abducción (figura 2).

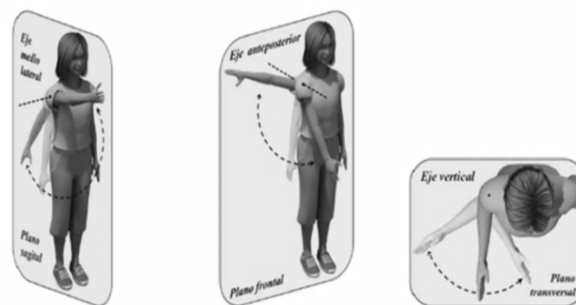


Figura 2: Movimientos sobre cada plano.

El codo es la segunda parte de la extremidad superior llamada antebrazo, la cual se encuentra compuesto de tres huesos, el radio, el cúbito y la cabeza inferior del húmero. Las tres articulaciones que conectan a estos huesos son el humero cubital, humero radial y radio cubital proximal, ya que permiten el movimiento de flexión-extensión y se ubican en la parte superior del antebrazo formando el codo (figura 3).

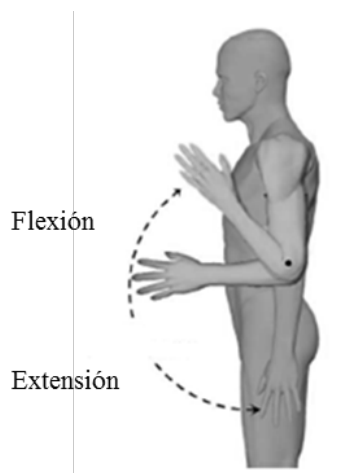


Figura 3: Movimientos flexión – extensión del codo.

La tercera sección del miembro superior es la mano, la cual cuenta con la capacidad de sujeción y la facilidad de manipular objetos. La muñeca permite la manipulación de los objetos, esta es la unión de la mano con el antebrazo y se encuentra constituido por dos articulaciones; la articulación radio carpiana, la cual consta de la unión de los huesos del carpo con el radio y la articulación medio carpiana que se encuentra entre las dos filas de los ocho huesos del carpo. En estas articulaciones se producen dos movimientos que son la flexión extensión y la abducción-aducción (figura 4).

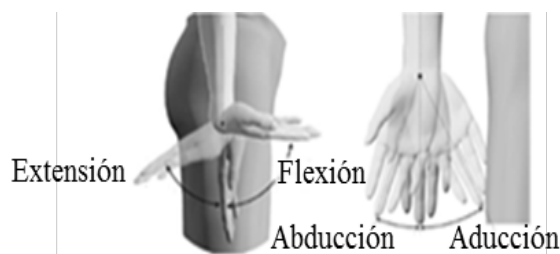


Figura 4: Movimientos flexión–extensión y abducción-aducción de la muñeca.

2.1. Cinemática

Es una rama de la física que analiza y detalla los movimientos, sin tomar en cuenta las causas que lo originan. La cinemática utiliza un sistema de referencia para poder medir un cambio de posición. Esto lo hace realizando un análisis en una o dos dimensiones, evaluando desplazamiento, velocidad y aceleración [10].

El movimiento es un concepto relativo ya que debe hacer referencia a un sistema de partida establecido por algún observador, para así poder realizar la medición de la posición y orientación respecto al sistema. Si existe más de un observador pueden utilizarse varios sistemas de referencia distintos, y es de suma importancia el relacionar las observaciones efectuadas por todos estos. Una partícula estará en movimiento en un sistema de referencia si su posición con respecto a él mismo cambia al paso del tiempo, en caso de no presentarse éste fenómeno, se puede decir que la partícula está en reposo dentro de dicho sistema.

Al número de parámetros independientes que se necesitan para especificar la posición relativa de los miembros de una cadena cinemática con respecto a un origen se les denominan grados de libertad.

Existen seis grados de libertad, 3 rotaciones y 3 traslaciones.

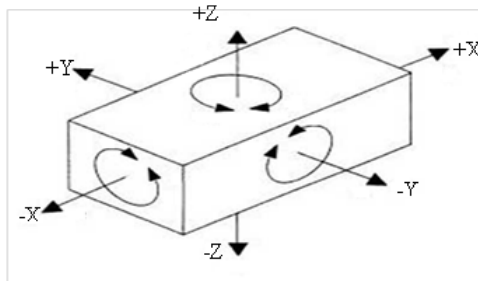


Figura 5: Grados de libertad.

2.2. Posición y orientación

Dada la naturaleza de este trabajo, es de gran importancia el poder determinar tanto la posición, como la orientación de las diferentes articulaciones dentro de una cadena cinemática o en éste caso de una extremidad del cuerpo humano, para así poder definir a partir de su relación a el movimiento la trayectoria a seguir o duplicar, un ejemplo de esto sería la marcha humana.

2.3. Matriz de posición y orientación

Para poder establecer las matrices de posición y de orientación, se debe fijar un sistema de referencia, por lo tanto

- Matriz de posición y orientación

$$R = \begin{bmatrix} i_x i_y & i_x j_v & x \\ j_y i_u & j_y j_v & y \\ 0 & 0 & z \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & -\text{sen}(\alpha) & 0 \\ \text{sen}(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2}$$

- Matriz homogénea

$$T = \begin{bmatrix} R_{3x3} & P_{3x1} \\ f_{1x3} & W_{1x1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Rotación} & \text{Traslación} \\ \text{Perspectiva} & \text{Escalado} \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\text{sen} \alpha & 0 & P_x \\ \text{sen} \alpha & \cos \alpha & 0 & P_y \\ 0 & 0 & 1 & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3}$$

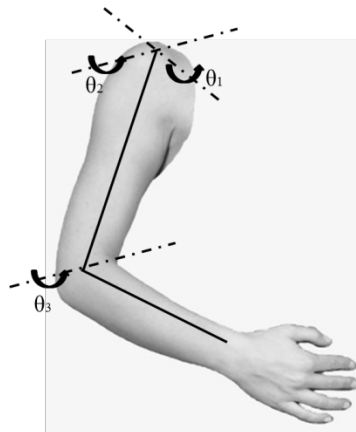


Figura 6: Identificación de los 3 grados de libertad.

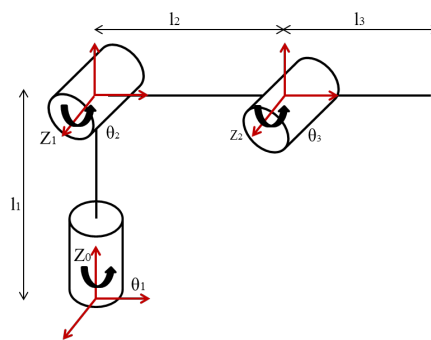


Figura 7: Cadena cinemática del brazo.

Resolviendo la cinemática directa:

Tabla 1: Parámetros Denavit-Hartenberg

Tabla D-H				
A	Θ_i	d_i	a_i	α_i
1	Θ_1	L_1+d_1	0	90
2	Θ_2	d_2	L_2	0
3	Θ_3	d_3	L_3	0

- Matrices de transformación homogénea entre articulaciones:

$${}^0H_1 = \begin{pmatrix} C_1 & 0 & S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & -C_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & L_1 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$${}^1H_2 = \begin{vmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & L_2C_2 \\ S_2 & C_2 & 0 & L_2S_2 \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$${}^2H_3 = \begin{vmatrix} C_3 & -S_3 & 0 & L_3C_3 \\ S_3 & C_3 & 0 & L_3S_3 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

- Matriz de transformación homogénea entre articulación tres y la base cero.

$${}^0H_3 = \begin{vmatrix} -C_1C_{23} & -C_1S_2 & S_1 & (d_2 + d_3) \\ S_1C_{23} & -S_1^3S_2 & -C_1 & S_1 + C_1(L_2C_2 + L_3C_{23}) - (d_2 + d_3) \\ S_{23} & C_{23}^3 & 0 & C_1 + S_1(L_2C_2 + L_3C_{23})L_1 + d_1 + L_2S_2 + L_3S_{23} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Esta última matriz, permite describir el movimiento de la cadena de tres grados, relacionando el punto terminal con la base.

- Coordenadas del extremo final respecto a la base.

$$\begin{vmatrix} X_n \\ Y_n \\ Z_n \end{vmatrix} \begin{vmatrix} (d_2 + d_3) \\ S_1 + C_1(L_2C_2 + L_3C_{23}) - (d_2 + d_3) \\ C_1 + S_1(L_2C_2 + L_3C_{23}) \\ L_1 + d_1 + L_2S_2 + L_3S_{23} \end{vmatrix}$$

Resolviendo la cinemática indirecta:

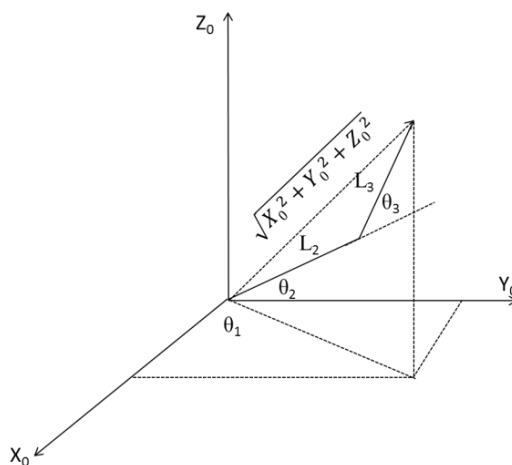


Figura 8: Planteamiento geométrico

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{X_0}{Y_0} \right)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{(L_2 + L_3 C_3) Z_0 - L_3 S_3 \sqrt{X_0^2 + Y_0^2}}{\sqrt{X_0^2 + Y_0^2} (L_2 + L_3 C_3) + Z_0 - L_3 S_3} \right)$$

$$\theta_3 = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{(2L_2 L_3)^2 - (X_0^2 + Y_0^2 + Z_0^2 - L_2^2 L_3^2)^2}}{X_0^2 + Y_0^2 + Z_0^2 - L_2^2 L_3^2} \right)$$

Donde estas ecuaciones gobiernan, el movimiento del manipulador en función de las coordenadas X, Y, Z , entre el punto final y la base cero.

■ Matriz Jacobiana.

$$\begin{vmatrix} j_{11} & j_{12} & j_{13} \\ j_{21} & j_{22} & j_{23} \\ j_{31} & j_{32} & j_{33} \end{vmatrix}$$

Derivando parcialmente respecto a $\theta_1, \theta_2, \theta_3$

$$j_{11} = (d_2 + d_3)C_1 - S_1(L_2 C_2 + L_3 C_{23})$$

$$j_{12} = -C_1(L_2 S_2 + L_3 S_{23})$$

$$j_{13} = -L_3 C_1 S_{23}$$

$$j_{21} = (d_2 + d_3)S_1 - C_1(L_2 C_2 + L_3 C_{23})$$

$$j_{22} = -S_1(L_2 S_2 + L_3 S_{23})$$

$$j_{23} = -L_3 S_1 S_{23}$$

$$j_{31} = 0$$

$$j_{32} = L_2 C_2 + L_3 C_{23}$$

$$j_{33} = L_3 C_{23}$$

El Jacobiano permite realizar un mapeo de las velocidades lineales y angulares del manipulador en el espacio cartesiano.

2.4. Videogrametría

La videogrametría es una técnica que se derivada de la fotogrametría, dicha técnica se basa en la toma de imágenes de cualquier objeto desde varios puntos de vista, y así poder realizar una reconstrucción tridimensional. Esta reconstrucción se realiza con un método transformación lineal directa, apoyados en un par de ecuaciones lineales las cuales relacionan la coordenada en la imagen de un punto con su ubicación espacial, aplicando la teoría de proyección perspectiva. La videogrametría puede ser aplicada para realizar la medición y caracterización del movimiento en un plano, mediante el uso de una cámara situada paralela al plano que se analizará [11].

Hoy en día el estudio del movimiento humano, es de gran importancia para le evaluación, investigación y en la práctica para la traumatología y ortopedia, realizando trabajos que tienen como finalidad determinar parámetros de normalidad o bien determinar características de estos movimientos.

Existen diferentes técnicas para la caracterización del movimiento humano, tales como:

- Electro goniómetros.- Son instrumentos eléctricos que miden la flexibilidad. El pro tractor empleado tradicionalmente en el goniómetro ha sido reemplazado por un potenciómetro situado sobre el centro de rotación de la articulación que se estudia. Cuando se produce el movimiento en la articulación, un aferente eléctrico del potenciómetro transmite un registro continuo del ángulo adoptado por la articulación. El goniómetro sólo mide el ángulo articular en posición estática.
- Acelerómetros y giróscopos.- Dispositivos electrónicos que miden la información inercial dinámica, pero también ofrece información inercial estática, por ejemplo, la orientación relativa respecto a la gravedad. El giroscopio mide la velocidad angular de un objeto y se emplea, al igual que el acelerómetro, en múltiples aplicaciones.
- Sistemas de análisis de imágenes Videogrametría.- Sistemas que graban la posición de marcadores activos o pasivos, técnicas que se basan en la reconstrucción de las coordenadas de marcadores colocados sobre el segmento a seguir, a partir de imágenes.

De estas técnicas la más usada actualmente es la de sistema de análisis de imágenes, específicamente la videogrametría, fundamentalmente cuando se usan marcadores reflectantes pasivos, ya que la aplicación de estos le permite al paciente un movimiento natural, el cual no se ve afectado o alterado por algún equipo que se acople a alguna de sus extremidades. Aunado a esto el avance tecnológico en equipos de video, ha minimizado errores de medición, y abaratado los costos de estos equipos [8,9].

3. Materiales y métodos

Se estudiaron los patrones de movimiento de 2 personas jóvenes sanos, con los siguientes criterios de inclusión:

- Edad comprendida entre los 22 y 24 años.
- Sexo masculino.
- Entre un 1,6 a 1,7 metros.
- Sin historial de lesiones ni patologías considerables en ninguna extremidad.
- Sin historial de lesiones neuronales centrales o periféricas.
- Aceptando cumplir con el protocolo de estudio.

Para cada paciente, se tomaron una media de 3 capturas por sesión y movimiento.

3.1. Descripción de la técnica

- Colocación de los marcadores sobre la ropa.
- Registro de las posturas de referencia.
- Registro de los movimientos objeto de medición.
- Obtención de las coordenadas 3D de los marcadores.

Los marcadores reflectantes sobre cada paciente permiten definir la posición y orientación de cada uno de los segmentos de la pierna. Se han utilizado un total de 3 marcadores, de 0.0254 metros de diámetro, posicionados sobre las articulaciones de la pierna, cadera, rodilla y tobillo. Para poder conseguir una técnica repetible, los ángulos deben expresarse con respecto a una postura neutra que sea fácil de repetir, de forma que sean comparables las mediciones realizadas en sesiones diferentes con distinta colocación de marcadores.

3.2. Proceso de obtención de datos

3.2.1. Calibración de la cámara Se define la función o las funciones que permiten relacionar los píxeles de la imagen captada, con longitudes del mundo real, tal como se presenta en la figura 9.

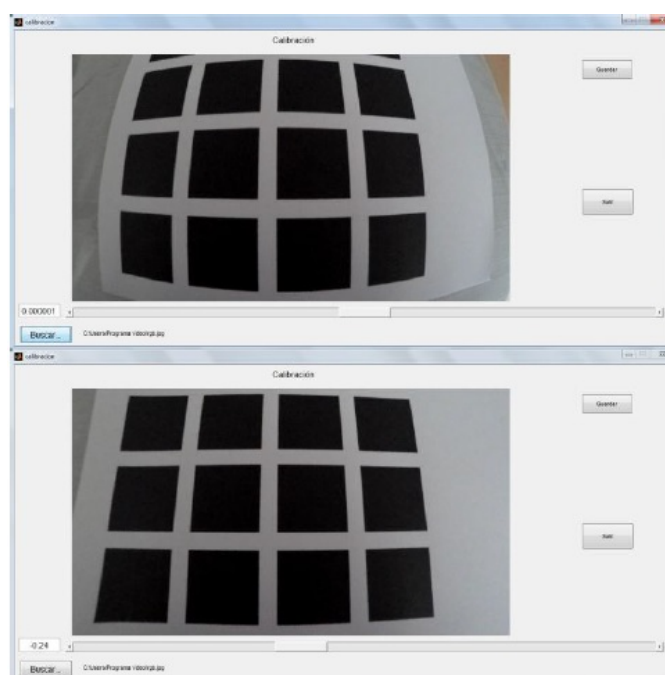


Figura 9: Calibración y corrección de curvatura de imagen.

3.2.2. Pre-procesamiento digital de imágenes Este se centra en aislar información específica, donde a partir de espacios definidos se toma la información que es relevante y cual es irrelevante, es decir un filtrado de imágenes, quitando las imágenes del fondo que no se miden, y solo dejando los marcadores para medir su posición y movimiento. Estos espacios o umbrales son restricciones en las capas de colores. Dentro de este paso se consideran procesos de dilatación y erogación, técnicas que nos permiten aumentar o disminuir las áreas de información. La dilatación está definida como:

$$(A \oplus B = (c = a + b \text{ para algun } a \in A \text{ y } b \in b), \quad (4)$$

la erogación se define como:

$$A \ominus B = (B_x \subseteq A) \quad (5)$$

3.2.3. *Procesamiento* En este proceso se localizan los marcadores en un plano a partir de centroides, para obtener así los valores deseados.

$$X = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n x_i \quad (6)$$

$$Y = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n y_i \quad (7)$$

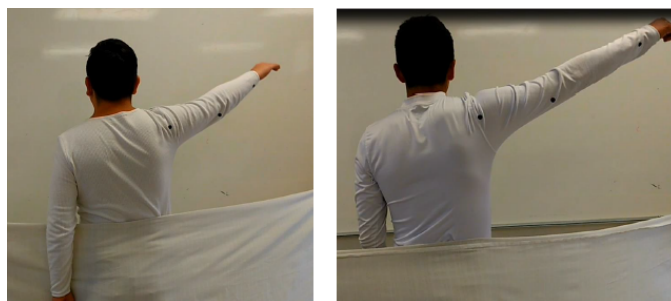


Figura 10: Sujetos 1-2, movimiento de abducción.

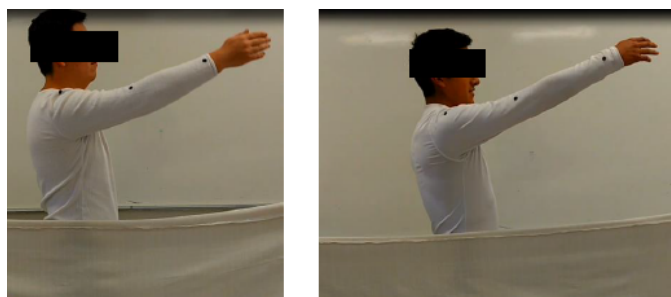


Figura 11: Sujetos 1-2, movimiento de flexión.

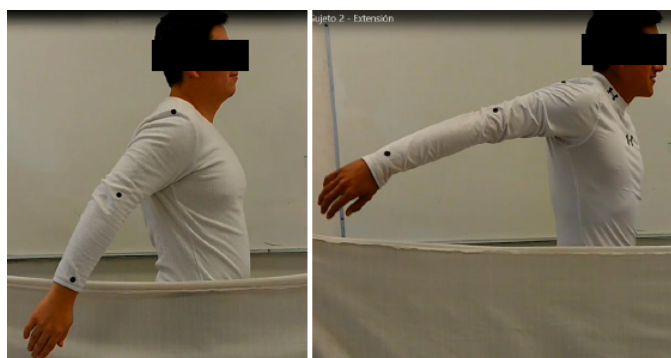


Figura 12: Sujetos 1-2, movimiento de extensión.

4. Resultados

Se obtuvieron gráficas en el plano sagital y frontal, que caracterizan la cinemática de los sujetos, tanto del hombro como del fémur, obteniendo medición de ángulos, velocidades angulares y lineales.

Es importante resaltar que el estudio se realizó a dos personas jóvenes sanas, sin lesiones, ya que en la medición de flexo-extensión es apreciable una diferencia en amplitud de movimiento.

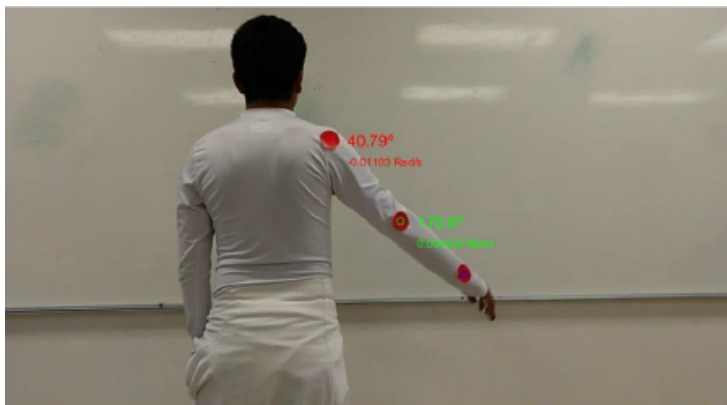


Figura 13: Parámetros de posición abducción, persona 1.

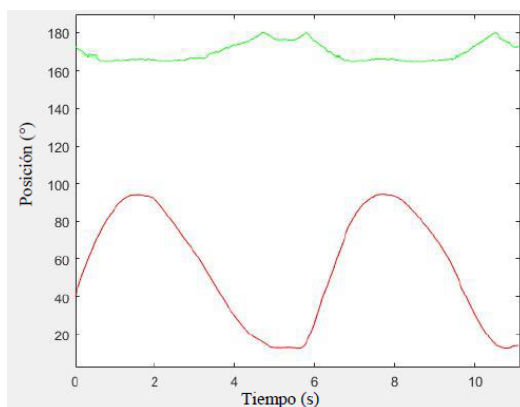


Figura 14: Gráfica de los parámetros de posición abducción, persona 1.

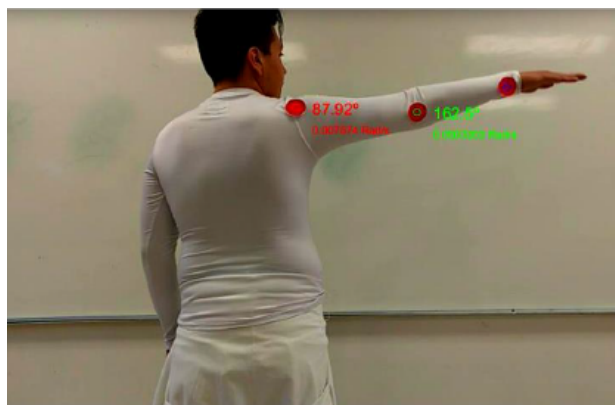


Figura 15: Parámetros de posición abducción, persona 2.

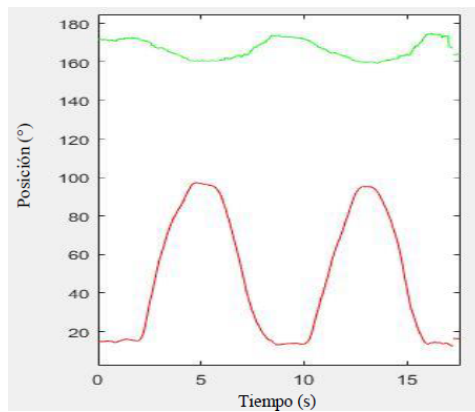


Figura 16: Gráfica de los parámetros de posición abducción, persona 1.

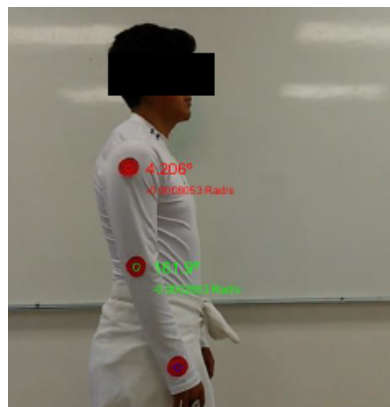


Figura 17: Parámetros de posición extensión, persona 1.

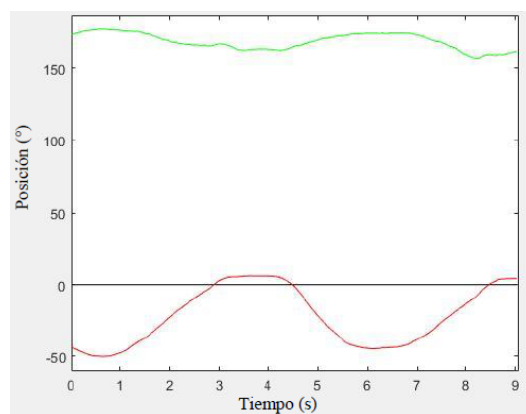


Figura 18: Gráfica de los parámetros de posición extensión, persona 1.

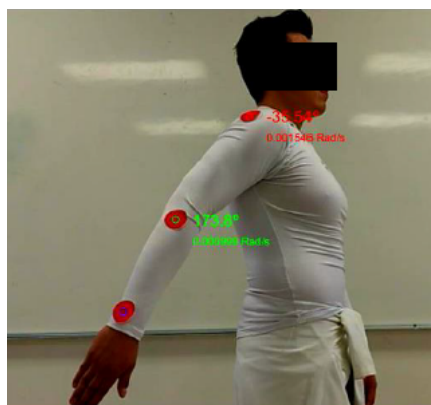


Figura 19: Parámetros de posición extensión, persona 2

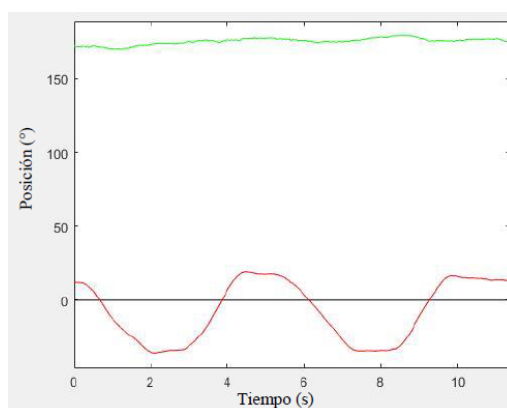


Figura 20: Gráfica de los parámetros de posición extensión, persona 2.

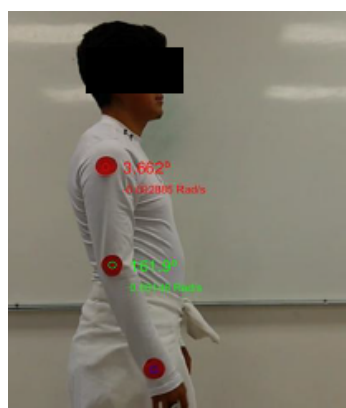


Figura 21: Parámetros de posición flexión, persona 1.

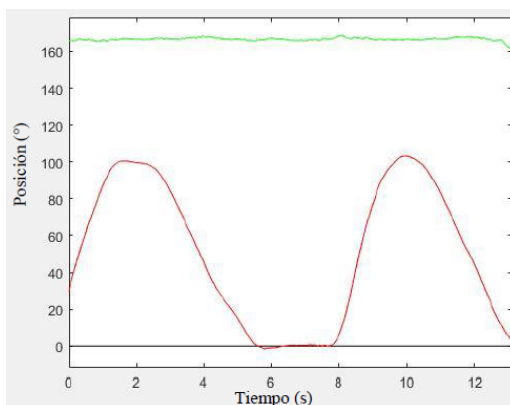


Figura 22: Gráfica de los parámetros de posición flexión, persona 1.

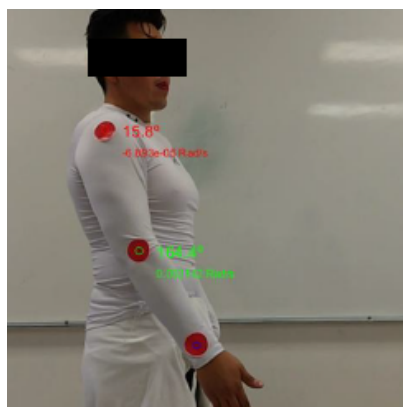


Figura 23: Parámetros de posición flexión, persona 2.

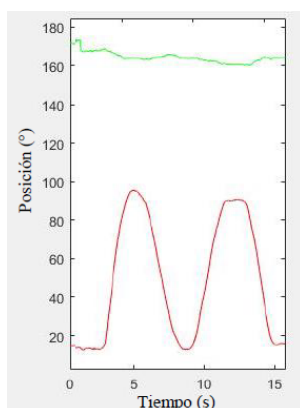


Figura 24: Gráfica de los parámetros de posición flexión, persona 2.

La generación de estas gráficas, que expresan el comportamiento cinemático del brazo humano, en función de ángulos y tiempos, permite entender el movimiento y replicar su comportamiento en el diseño de exo-prótesis. Cabe resaltar que este estudio, tiene limitaciones en sus alcances es decir, que solo puede servir como base para el diseño de sistemas prostéticos rehabilitadores para personas que tienen ciertas

discapacidades motrices, como por ejemplo pérdida de masa ósea o muscular no severa, y no tengan alteraciones o malformaciones como distrofia u osteoartritis severa que modifiquen de manera severa su cinemática, por lo que este análisis no sería válido para dichos casos.

5. Conclusiones

En el presente trabajo se muestra la caracterización de los movimientos de abducción-aducción y flexión-extensión, del hombro y codo, de dos personas sanas y sin historial de lesiones, mediante videogrametría, dicha caracterización se simuló como una cadena cinemática con ayuda de Matlab®, en base al modelo matemático obtenido.

Este estudio que incluye la cinemática directa e inversa, es un paso importante para la investigación de desarrollo para exo-prótesis de brazo humano con diseños personalizados, en base a un modelo matemático confiable para su descripción desde el punto de vista de la robótica.

Por lo que herramientas permiten la fabricación de sistemas prostéticos o sistemas rehabilitadores, que se adecuen a las necesidades individuales para cada paciente es de suma importancia, aunado a la demanda de productos de mejor calidad, y que con lleve a sistemas más seguros.

Referencias

- [1] M. L Fernández-López y M Féliz-Carballada, “La fisioterapia en el marco de la atención primaria”, *Cad. Aten. Primaria*, vol. 21, pp. 49 – 51, 2015.
- [2] V. Agredo Silva, J. A. Franco, E. P. Mina, “Perfil profesional y ocupacional de los fisioterapeutas en Colombia”, *CES Movimiento y Salud*, vol. 3, no. 1, pp 35-43, 2015.
- [3] P. Loeza-Magaña, “Introducción a la rehabilitación robótica para el tratamiento de la enfermedad vascular cerebral: revisión”, *Revista Mexicana de Medicina Física y Rehabilitación*, vol. 27, no. 2, pp. 44-48, 2015.
- [4] R. Newport, “Ventajas de la rehabilitación asistida mediante robot en la recuperación de las funciones motriz y visuoespacial en pacientes en fase de recuperación de un accidente cerebrovascular”, *Rev Esp Geriatr Gerontol*, vol. 41, No. 2, pp 66-73, 2006.
- [5] O. A. Vivas-Albán, “Aplicaciones de la robótica al campo de la medicina”, *Revista Pulsos*, vol. 9, pp 32-38, 2007.
- [6] C. Meneses-Castaño, Y. Peñaloza-Peñaranda, “Aplicación de la terapia robótica para el tratamiento de la mano espástica del adulto con hemiplejía. Artículo de revisión”, *Revista Mexicana de Medicina Física y Rehabilitación*, vol. 27, no. 3-4, pp 80-85, 2015.
- [7] L. G. Ibarra, V. H. Segura-García, D. D. Chávez-Arias, O. Borunda-Falcón, T. Chávez-Heres, C. Ridaura-Valencia y S. I. Macías-Hernández, “Las Enfermedades Y Traumatismos Del Sistema Músculo Esquelético. Un Análisis Del Instituto Nacional De Rehabilitación De México, Como Base Para Su Clasificación Y Prevención”, *Instituto Nacional De Rehabilitación, Secretaría de Salud*, pp 5-11, 2013.
- [8] *Diagnóstico y Tratamiento del Síndrome del Manguito Rotador*, Guía de práctica clínica, Instituto Mexicano del Seguro Social, pp 8-10, 2013.
- [9] V. Smith-Agreda, “Manual de embriología y anatomía general”, *Universidad de Valencia*, pp 469-482, 1991.
- [10] J. Craig, *Robótica*, Prentice Hall, 3ª edición, 2006, pp 19-52.
- [11] Jiménez-Vázquez, E., Cazares-Ramírez, I., Velazquez-Sanches, A. y Urriolagoitia-Sosa, G., “Sistema de análisis de movimiento en los planos sagital y coronal por medio de Videogrametría”, en *IV Congreso Nacional de Tecnología Aplicada a Ciencias de la Salud*, Tonantzintla, Cholula Puebla, 2013, pp 1-5.