

TOOL FOR THE BIOMECHANICS ANALYSIS OF THE UPPER LIMB JOINTS IN LIFTING WEIGHTS ON THE HEAD

HERRAMIENTA PARA EL ANALISIS DE LA BIOMECANICA DE LAS ARTICULACIONES DEL MIEMBRO SUPERIOR EN EL MANEJO DE CARGAS SOBRE LA CABEZA

MSc. (c). Luis Eduardo Bautista Rojas, MSc. John Faber Archila Díaz
MD (c). Jessica Natalia Archila D.

Universidad Industrial de Santander

Grupo de Investigación en Robótica de Servicio y Diseño Industrial - GIROD
E-mail: maeinf21@uis.edu.co, jfarchid@uis.edu.co

Abstract: This paper proposes the creation of a computational tool based on modeling of the geometry of linear transformations of finite elements that will reveal the kinematic behavior of the upper low ergonomic conditions of the problem and make specific recommendations to study the ergonomics fact in the workplace and their use in bio-engineering to applications more efficient.

Keywords: Biomechanics, elbow and shoulder joints, Bioengineering, Jacobian, Ergonomics, cargo handling.

Resumen: En este trabajo se plantea anatomofisiopatología de las articulaciones y posteriormente la creación de una herramienta computacional basada en el modelamiento de la geometría de las transformaciones lineales de elementos finitos, el Jacobiano geométrico, analítico y de representación, que permitirá conocer el comportamiento cinemático del miembro superior bajo las condiciones del problema ergonómico y que permitirá su apropiado conocimiento desde el punto de vista biomecánico. Finalmente se realizan recomendaciones más concretas al estudio de la ergonomía de los puestos de trabajo y su uso en la bioingeniería para el desarrollo de aplicaciones más eficientes.

Palabras clave: Biomecánica, Bioingeniería, miembro superior, Jacobiano, ergonomía, manejo de cargas.

1. INTRODUCCIÓN

La ergonomía es una disciplina que busca mejorar notablemente el ambiente laboral de las personas en industrias de cualquier tipo mediante el análisis de los puestos de trabajo, la relación hombre-tecnología y el ambiente laboral adaptándolo de manera armónica para mejorar el rendimiento del operario y evitar el deterioro progresivo de la salud del mismo ocasionada por condiciones negativas para su desempeño laboral. Este trabajo se enfoca el análisis específico del manejo de cargas por alturas sobre los hombros, ya que dicha posición genera un sobreesfuerzo interesante sobre las

articulaciones del miembro superior en una zona conocida como el Manguito de los Rotadores.

Mediante la aplicación de la Geometría de las transformaciones lineales de elementos finitos se establece un modelo matemático que busca entender más claramente a movilidad del miembro superior al momento de realizar manejo de cargas sobre condiciones especiales logrando describir detalladamente de manera espacial la cinemática de los movimientos que permitirá realizar un análisis de tipo biomecánico. Este estudio es el inicio de un trabajo que busca determinar los esfuerzos

mecánicos a los que se vé sometido el miembro superior realizando tareas como las mencionadas. Para análisis se considera al miembro superior con 8 grados de libertad compuesta por lo movimientos propios y restricciones naturales de las articulaciones de las que se compone y que nos permitirá recrear las fases del movimiento. En este trabajo se describe inicialmente la anatomía y fisiología propia seguida del análisis biomecánico de la extremidad, posteriormente se explican los factores humanos a tener en cuenta en los movimientos y de qué manera estos pueden generar lesiones en las articulaciones. Finalmente se presenta la cinemática directa y la simulación realizada en Matlab®.

2. EL MIEMBRO SUPERIOR

2.1 Anatomía

El miembro (extremidad) superior se caracteriza por su movilidad y la capacidad para sujetar y manipular. Está compuesto por cuatro partes fácilmente distinguibles: mano, antebrazo, brazo y cintura escapular, y que serán las usadas en el desarrollo de este trabajo.

Cintura Escapular: La cintura escapular es el segmento proximal del miembro superior. Se extiende desde la base del cuello hasta el borde inferior del músculo pectoral mayor. Fija la articulación glenohumeral al tronco, de manera que constituye la comunicación entre el miembro superior y el tronco. La cintura escapular se encuentra formada por la escápula y la clavícula.

Manguito de los rotadores: El manguito de los rotadores es el término anatómico dado al conjunto de músculos y tendones que proporcionan estabilidad al hombro. El manguito muscular de los rotadores suele dañarse tras el repetido uso del miembro superior por encima del plano horizontal. La elevación hacia adelante hace que la cabeza humeral, con el hombro en flexión anterógrada, choque contra el acromión y el ligamento coracoacromial, que rozan contra el tendón del supraespinoso.

Articulación del Codo: La articulación es definida como el medio de contacto que hace a la unión de dos o más huesos o partes de los huesos del esqueleto; existen tres tipos de articulaciones dependiendo el tipo de material que une los huesos.

I. Las articulaciones fibrosas están unidas por tejido fibroso.

- II. Las articulaciones cartilaginosas están unidas por cartílago hialino o fibrocartílago.
III. Las articulaciones sinoviales están unidas por una cápsula articular.

La articulación del codo es catalogada como articulación sinovial de tipo bisagra, es decir, se mueve en un solo plano alrededor de un solo eje (uniaxial), éste tipo de movimiento solo permite flexión y extensión del miembro.

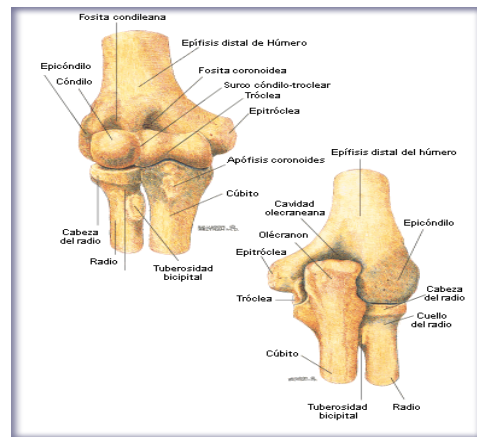


Fig. 1. Articulación del Codo.

(K. Moore "Anatomía con Orientación Clínica", 4 Ed. Editorial Lippincott, Williams & Wilkins).

Los movimientos del codo como se mencionó anteriormente consisten en flexión y extensión del antebrazo, el brazo completamente extendido llega a formar un ángulo de 170° e incluso se puede agudizar 10° más en el caso de las mujeres.

3. FACTORES HUMANOS

Los factores humanos o ergonomía estudian cómo adecuar la relación del ser humano con su entorno, según la definición oficial del Consejo de la Asociación Internacional de Ergonomía IEA. Una de sus ramas, la ergonomía física, estudia las posturas más apropiadas para realizar las tareas del hogar y del puesto de trabajo, para el manejo de cargas y materiales y para los movimientos repetitivos, entre otros aspectos.

Se entiende por movimientos repetidos a un grupo de movimientos continuos, mantenidos durante un trabajo que implica al mismo conjunto osteomuscular provocando en el mismo fatiga muscular, sobrecarga, dolor y por último lesión. Se indica que el trabajo se considera repetido cuando la duración del ciclo de trabajo fundamental es menor de 30 segundos (Silverstein et al, 1986).

3.1 Patologías asociadas

Tendinitis del manguito de rotadores: los trastornos aparecen en trabajos donde los codos deben estar en posición elevada, o en actividades donde se tensan los tendones o la bolsa subacromial; se asocia con acciones de levantar y alcanzar, y con un uso continuado del brazo en abducción o flexión.

Entre las patologías más frecuentes e importantes de la articulación del codo encontramos la **epicondilitis** externa conocida también como codo del tenista por ser bastante frecuente en las personas que practican éste deporte.

Otra patología relacionada con la articulación del codo es la **epicondilitis interna** o también conocida como codo del golfista, su causa se deriva de la realización repetitiva de movimientos contra resistencia de flexión y pronación de la muñeca los cuales dan lugar a micro desgarros de músculos flexores del antebrazo, pronador redondo.

Así mismo también se considera que la manipulación manual de toda carga que pese más de 3 kg (ISO/CD 11228, Ergonomics - Manual Handling) puede entrañar un potencial riesgo dorso lumbar no tolerable, ya que a pesar de ser una carga bastante ligera, si se manipula en unas condiciones ergonómicas desfavorables (alejada del cuerpo, con posturas inadecuadas).

3.2 Descripción del movimiento de manipulación

Los Movimientos que el cuerpo realiza para cumplir con la tarea de llevar cargas por encima de los hombros se describen básicamente en dos fases, levantar y colocar, mostrados en la figura 2:

Fase 0: Levantamiento de la carga desde su reposo hasta la altura de la cintura. A partir de aquí se realizara al análisis del movimiento, ya que los movimientos anteriores no son de interés para este trabajo.

Fase 1: Levantar, consiste en llevar la carga desde la cintura hasta la altura del pecho.

Fase 2: Colocar, Movimiento de la carga desde la altura del pecho hasta colocarla en su posición final generalmente a una altura sobre la cabeza u hombros.

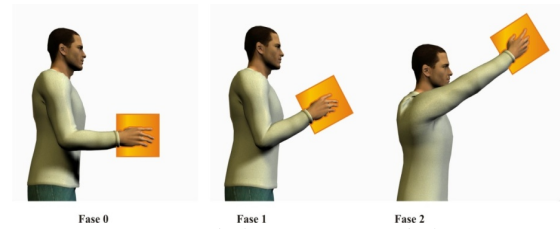


Fig. 2. Fases de levantamiento de la carga

4. CINEMÁTICA DIRECTA

Con el modelo cinemático directo se conocen los movimientos de los grados de libertad del miembro y se desea encontrar la posición final del mismo. Para encontrar el modelo cinemático directo se utiliza el método de transformaciones lineales por medio de matrices homogéneas (Archila et al, 2008).

En el análisis cinemática se asume que el brazo se comporta como una cadena cinemática abierta compuesta por los tramos y las articulaciones del miembro superior. La conformación estructural del miembro superior dispuesta al análisis en este trabajo es la siguiente:

- Segmento 1: Hombro (Clavícula y Escápula).
- Segmento 2: Brazo (Húmero).
- Segmento 3: Antebrazo (Cúbito y Radio).
- Segmento 4: Mano (Carpó, metacarpo, Falanges).

Es necesario tener en cuenta las consideraciones hechas por Pons para el estudio del brazo en donde toda la mano es considerada como un solo segmento, de esta forma la estructura que se usa para el análisis tendrá los cuatro segmentos descritos anteriormente unidos entre sí por las articulaciones de la muñeca, el codo y el hombro, quienes sujetan el miembro superior al cuerpo (Pons et al, 2008). Se han tenido en cuenta las características propias del miembro superior y las condiciones de análisis es necesario tener en consideración el trabajo de Rocon, (Rocon et al 2005).

Como consideró Pons en su trabajo, las alturas se consideran constantes mediante una relación numérica con la talla (altura, según percentil adecuado) y presentados en la tabla (1). Es también necesario aclarar que se han tomado todas las uniones como ideales (Barrientos, 1997).

Tabla 1. Longitud de los segmentos

LONGITUD DE LOS SEGMENTOS	
SEGMENTO	DISTANCIA
Hombro (L1)	0.094 H
Brazo (L2)	0.186 H
Antebrazo (L3)	0.146 H
Mano (L4)	0.108 H

H= Altura del cuerpo en Centímetros.

Las articulaciones que unen los segmentos mencionados anteriormente y los movimientos naturales, basados en (Carignan et al, 2005), a cada una de ellas se describen a continuación y se muestran en la figura 3:

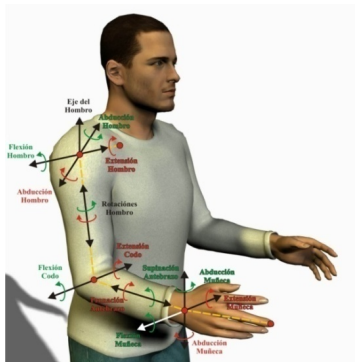


Fig. 3. Movimientos del miembro superior

Articulación del Hombro:

Es la encargada de unir la escapula y clavícula con el humero. Para esta articulación se consideran los siguientes tipos de movimientos:

- *Flexión-Extensión*: es el movimiento que lleva al bíceps para al frente o para atrás del plano frontal del cuerpo, el rango de movimientos va de 130° a 180° para la flexión, mientras que para la extensión va de 30° a 80°.
- *Abducción- Aducción*: es el movimiento que lleva el brazo hacia o fuera de la línea media del cuerpo, el hombro puede alcanzar 180° de abducción, pero sólo 50° de aducción.
- *Circunducción*: es el movimiento realizado alrededor del húmero. La rotación puede ser interna con movimientos que van desde los 60° hasta los 90°, o externa donde alcanza los 90°.

Articulación del Codo:

Realiza la unión del Húmero con el Cúbito y Radio. Es necesario aclarar que el segmento de antebrazo-muñeca puede girar sobre su propio eje, generando una rotación propia del segmento y no de la articulación de codo. Para esta articulación se observaron los siguientes movimientos:

- *Flexión-Extensión*: es el movimiento alrededor del eje transversal que permite a la palma de la mano acercarse o alejarse del brazo.
- *Pronación- Supinación*: es la rotación al redor del eje del antebrazo.

Articulación de la Muñeca:

Encargada de unir el Brazo (Cúbito y Radio) con la Mano. En esta articulación se presentan 2 grados de libertad. El comportamiento de esta articulación puede ser tanto biaxial como multiaxial, los movimientos descritos por esta articulación son:

- *Flexión-Extensión*: es el movimiento alrededor del eje transversal que permite a la palma de la mano acercarse o alejarse del antebrazo, la palma puede alcanzar una inclinación de 90°.
- *Abducción- Aducción*: es el movimiento alrededor del eje antero-posterior que mueve la mano hasta el cúbito (abducción), o hasta el radio (aducción), los ángulos van desde los 30° o 40° para abducción y 15° para aducción.

5. MODELO FÍSICO - MATEMÁTICO

Para el modelo se ha adoptado el análisis del miembro superior con 8 (ocho) grados de libertad. Las transformaciones lineales son representadas por medio de matrices de rotación donde se describirán las rotaciones en torno a los ejes de referencia X, Y, y Z, finalmente se describirán las traslaciones realizadas en los ejes. Las ecuaciones 1 a 4 describen las matrices de transformaciones lineales según el modelo presentado por Barrientos para el modelamiento de operaciones para describir los movimientos del miembro superior.

$$R(x, f1) = \begin{bmatrix} \cos f1 & -\sin f1 & 0 & 0 \\ \sin f1 & \cos f1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$R(y, f2) = \begin{bmatrix} \cos f2 & \sin f2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin f2 & \cos f2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R(z, f3) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos f3 & -\sin f3 & 0 \\ 0 & \sin f3 & \cos f3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$T(d) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & dx \\ 0 & 1 & 0 & dy \\ 0 & 0 & 1 & dz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

El modelo presentado corresponde a 8 grados de libertad descritos de la siguiente manera: la Clavícula, con un grado de libertad Rotacional. El hombro con tres grados de libertad. El Codo, con dos grados de libertad y finalmente la muñeca, con dos grados de libertad. Algunos autores realizan análisis del miembro superior con diferentes grados de libertad, el modelo de 8 GDL ha sido adoptado por autores como M. Benati, 1980; C. Carignan, 2005 y J. Perry, 2006 en sus trabajos de análisis cinemático. Para dar inicio al análisis el modelo cinemático del miembro superior incluyendo el codo se establece una cadena cinemática abierta, debido a que existe una única secuencia de articulaciones, conectando los puntos inicial y final de los eslabones de la cadena (Siciliano et al, 2009).

También es necesario establecer los ejes de referencia sobre los cuales se iniciará el análisis de los movimientos, a dichos movimientos se les ha asignado una notación específica con respecto al marco de referencia ilustrado en la figura 4. Teniendo en cuenta lo anterior se indica que los movimientos de flexión - extensión se realizan en torno al eje Y, las rotaciones se indican alrededor del eje Z y los movimientos restantes en el eje X. Además de esto se han fijado los puntos de referencia P0, P1, P2, P3 y P4, como articulaciones y las longitudes L1, L2, L3 y L4 para los segmentos del miembro superior que se forman entre los puntos descritos anteriormente los cuales presentan un desplazamiento en el eje X (Yang et al, 2001).

Tomando las recomendaciones de (Veslin et al, 2007), el conjunto de ecuaciones presentadas a continuación describe detalladamente las transformaciones realizadas desde el punto inicial P0 en la base de la clavícula hasta los puntos P1, P2, P3 y P4, modelando el movimiento desde el punto inicial hasta cada uno de los segmentos a manera de transformaciones lineales (T).

$$T_1^0(A_1) = A_1^0(X_0, A_1)$$

$$T_2^1(\alpha_1, L_1) = R_x(X_1, \alpha_1) \bullet T_x(X_1, L_1)$$

$$T_3^2(\alpha_2, \beta_1, L_2) = R_x(X_2, \alpha_2) \bullet R_y(Y_2, \beta_1) \bullet T_y(Y_2, L_2)$$

$$T_4^3(\alpha_3, L_3) = R_x(X_3, \alpha_3) \bullet T_x(Y_3, L_3)$$

$$T_5^4(\beta_2) = R_y(Y_4, \beta_2)$$

$$T_5^0(q) = T_1^0 \bullet T_2^1 \bullet T_3^2 \bullet T_4^3 \bullet T_5^4$$

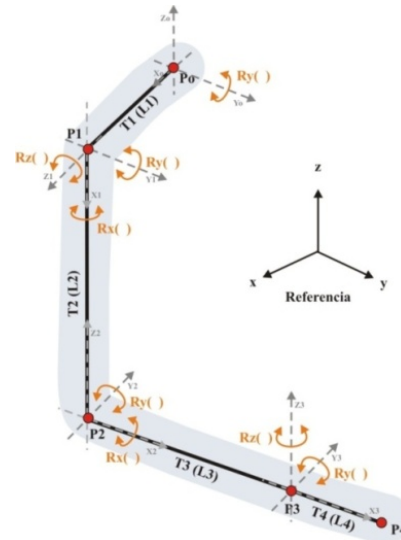


Fig. 4. Modelo completo del brazo incluyendo la articulación del codo

Se procede a analizar individualmente cada una de las fases presentes en el movimiento de manejo de carga.

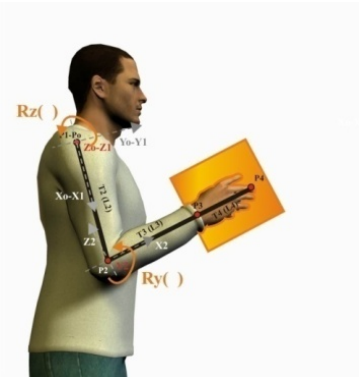


Fig. 5. Descripción de las transformaciones en la Fase 1 del movimiento.

FASE 1: Descrita por la Flexión y Rotación de la articulación del hombro (P1) y la flexión del codo (P2) para alcanzar la posición mostrada en la fig. 5.

FASE 2: Descrita por la Flexión en la clavícula (Po), Flexión y Rotación de la articulación del hombro (P1), la flexión del codo (P2) y finalmente una flexión de la muñeca (P3) para alcanzar la posición mostrada en la fig. 6.

Para evitar inconvenientes de orientación de los ejes de referencia se adopta para el análisis toda rotación anti-horaria como positiva.

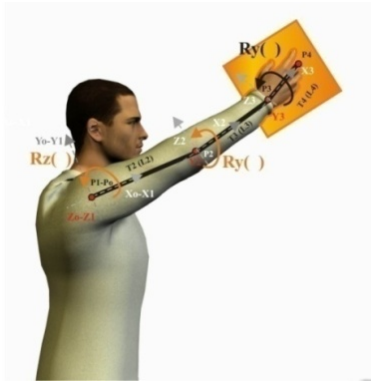


Fig. 6. Descripción de las transformaciones en la Fase 2 del movimiento.

Tabla 2. Longitud de las extremidades

LONGITUD DE LAS EXTREMIDADES	
EXTREMIDAD	DIMENSION
Hombro (L1)	15,93 cm
Brazo (L2)	31,62 cm
Antebrazo (L3)	24,82 cm
Mano (L4)	18,36 cm

Tabla 3. Ángulos de restricción para el movimiento

ÁNGULOS DE REESTRICCION PARA CADA ARTICULACION	
ARTICULACION - MOVIMIENTO	ANGULO
Clavícula - Elevación	0° a 30°
Hombro - Flexión	130° a 180°
Hombro - Circunducción Interna	60° a 90°
Codo - Flexión	Hasta 140°
Codo - Pronación	Hasta 80°
Muñeca - Flexión	Hasta 90°
Muñeca - Aducción	Hasta 15°

6. ESTÁTICA DEL MOVIMIENTO DE MANEJO DE CARGA

Durante el desarrollo del movimiento es preciso conocer de qué manera afecta la carga a cada una de las secciones del miembro superior. De la misma manera es necesario conocer el impacto que tiene la carga en las articulaciones y más especialmente en la articulación de hombro que alberga la zona de la anatomía humana que estudiamos en este trabajo.

Para realizar el análisis estático de manera ordenada se iniciará por esquematizar los segmentos del miembro superior, posteriormente se representa mediante vectores las fuerzas que actúan sobre la cadenas óseas, seguidamente se determinan los valores longitudinales antropométricos del miembro superior y que se

relacionan en la tabla (2). Es indispensable la definición del diagrama de cuerpo libre de los movimientos que se presentan, para poder conocer las fuerzas ilustradas en las figuras 7,8 y 9 que interaccionan en cada una de las secciones del miembro superior.

Para el diagrama se definen las siguientes convenciones:

W_o: Carga a levantar.

W_i: Peso en la articulación.

W_{ri}: fuerza resultante en la articulación i

R_{xi}: Reacción en el eje X de la articulación i.

R_{yi}: Reacción en el eje Y de la articulación i.

R_{zi}: Reacción en el eje Z de la articulación i.

M_i: momento en la articulación i..

θ_i: Ángulo de la articulación i.

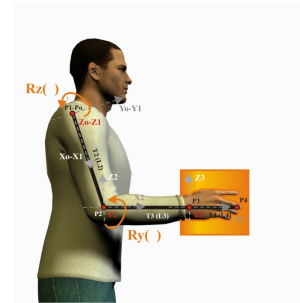


Fig. 7. Comportamiento de la carga en la fase 0.

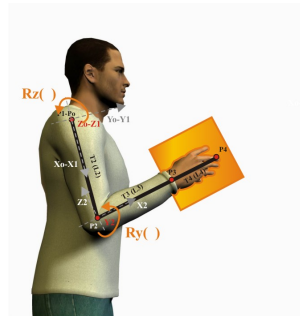


Fig. 8. Comportamiento de la carga en la fase 1.

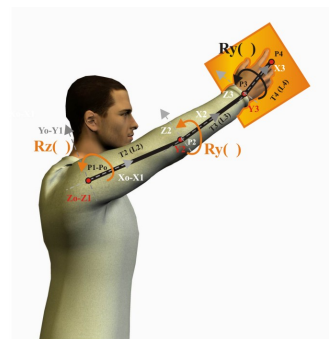


Fig. 9. Comportamiento de la carga en la fase 2.

Todas las longitudes y ángulos de restricción usados se han tomado de la tabla (2) y (3) respectivamente. Las gráficas obtenidas se realizaron con cálculos para un sujeto de estatura promedio 1,70 cm, siendo las dimensiones de las extremidades relacionadas en la tabla (2).

Al resolver el modelo en Matlab® a partir de los ángulos de movimiento incluidos en la Tabla (2) aplicados a cada una de las articulaciones encontramos los resultados de las fuerzas presentes en el conjunto del Manguito de los Rotadores y el codo, que se visualizan en la figuras 10, 11 y 12.

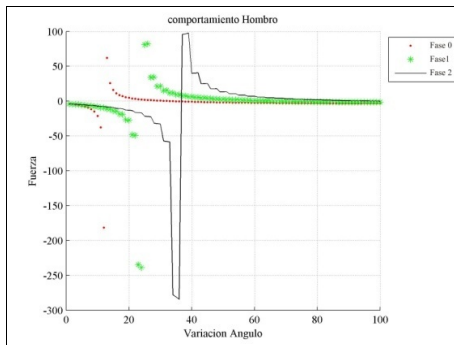


Fig. 10. Comportamiento de los esfuerzos sobre la articulación del Hombro.

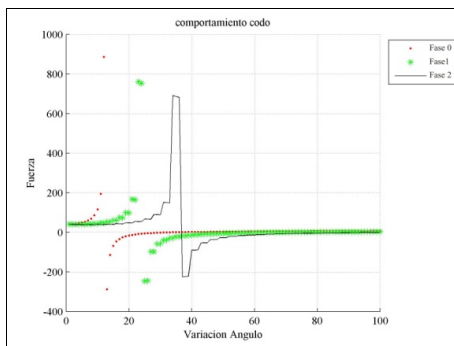


Fig. 11. Comportamiento de los esfuerzos sobre la articulación del codo.

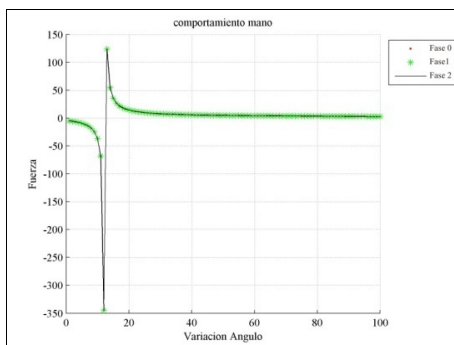


Fig. 12. Comportamiento de los esfuerzos sobre la articulación de la mano.

7. CONCLUSIONES

Mediante el trabajo realizado se puede conocer con más precisión los movimientos del miembro superior cuando realiza manejo de cargas repetitivas a la altura del hombro, además de obtener valiosa información para su posterior aplicación en el diseño de dispositivos en los cuales el operario realiza este tipo de movimientos.

También se presentan aplicaciones en el diseño de puestos de trabajo, talleres, industrias, en cadenas de producción y ensamblaje donde se presenta muy comúnmente movimientos repetidos y además se pueden presentar lesiones músculo-esqueléticas que se pueden convertir enfermedades laborales. Esta herramienta es el primer paso para diseñar un puesto de trabajo más eficiente ya que se puede predecir de manera controlada las posibles consecuencias para la salud del operario evitando y disminuyendo la fatiga muscular y posibles trastornos músculo-esqueléticos. La distancia de separación entre la carga manejada y el cuerpo tiene una influencia directa en el esfuerzo mecánico de las extremidades superiores y más intensamente sobre el hombro. Se encontró que la articulación del hombro se ve notoriamente afectada por las cargas del movimiento en la fase 2. Aunque no se esperaba, también se resalta la sobrecarga sobre la articulación de la muñeca presente en todas las fases del movimiento. En la fase 2 del movimiento se resalta una sobrecarga en todas las articulaciones, aunque más notoriamente sobre la articulación del hombro.

El movimiento de levantamiento de pesos sobre los hombros se compone de las rotaciones de los segmentos del miembro superior, para la clavícula una elevación máxima de 15°, para el hombro flexiones y rotaciones entre 0° y 120° grados, para el codo rotaciones y flexiones entre 0° y 90° grados, y para la muñeca entre -15° y 15° de aducción. Todos estos movimientos se pueden realizar teniendo en cuenta las restricciones propias del miembro superior y la distribución de la carga a lo largo de la extremidad en cada una de las fases.

RECONOCIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la VIE de la UIS, por el apoyo y financiación brindado al proyecto titulado "Investigación para el diseño de un sistema de análisis de marcha y postura orientado a diagnóstico y salud ocupacional" código 5557, de donde surge el presente artículo.

REFERENCIAS

- “Manipulación Manual de Cargas”, Ministerio de trabajo e Inmigración de España, Real Decreto 487/1997, de 14 de abril B.O.E. n.º 97, de 23 de abril. Madrid, 2003.
- Archila, J., Dutra, M., “Study and modeling of KR 6 KUKA robot”, Revista Facultad de Ingenierías. Universidad de Antioquia N.º 46 pp. 132-144. Diciembre, 2008
- Barrientos, A., “Fundamentos de Robótica” Ed. Mac Graw Hill. Barcelona. 1997. pp. 15-38.
- Zaccaría, R.. “Antropomorfic robotics”, Biological Cybernetics, Vol 38, 1980, 135-140.
- Carignan, C., Liszka, M., “Design of an Arm Exoeskeleton whith Scapula Motion for Shoulder Rehabilitation”, Advanced Robotics, 2005, ICAR’05, Proceedings, 12th International Conferencie, 2005, pp. 524-531.
- During Daily Activities – Toward a 7 DOF Upper Limb Powered Exoskeleton”, Biomedical Robotics and Biomechatronics, 2007. IEEE Xplore.
- Engin, A. E., Tümer, S. T. “Three-dimensional kinematic model and determination of human shoulder complex – Part I: Physical model and determination of joint sinus cones”. Journal of Biomechanical Engineering 111, 1989,
- Garcia, C., Chirivella, C., Page del Pozo, A., Moraga, R., Jorquera, J.. “Evaluación de Riesgos laborales asociados a la carga física”. Instituto de Biomecánica de Valencia, 1997.
- Gonzalez, D. “Ergonomía y Psicología” 4 Ed. FC. Pp. 164.170.
- Gowitzke, M., Milner, M.. Scientific Bases of Human Movements, Ed. Paidotribo, 2000.
- Perry, J. C., Rosen, J., Manning, N., Burns, S., Hannaford, B.. “The Human Arm Kinematics and Dynamics
- Perry, J. C., Rosen, J., “Design of a 7 degree of freedom upper limb powered exoeskeleton”, Biomedical Robotics and Biomechatronics, 2006. BioRob 2006. The First IEEE/RAS-EMBS International Conference, 2006, pp. 805-810.
- Pons, J. L. Wearable Robots: Biomechatronic Exoeskeleton, Jhon Wiley & Sons, Ltd, 2008.
- Rocon, E., Pons, J. L. “Case study: study of tremor characteristics based on a biomechanical model of the upper limb”. In: J. L. Pons., Wearable Robots: Biomechatronic Exoeskeleton, Jhons Willey & Sons, Ltd, 2005, pp: 80-85.
- Shiele, A., Francis, C. T. “Kinematics Design to Improve Ergonomics in Human Machine Interaction”, IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol 14, No 4, 2006, pp. 456-468.
- Siciliano, B., Sciavicco, L., Villani, H., Oioio, G. “Robotics Modeling Planning and Control”, Springer 2009.
- Silverstein, B., Fine, L., Armstrong, T., Joseph, B.; Bucholz, B., Toberston, M. “Cumulative trauma disorders of the hands and wrist in industry. The ergonomics of working postures. Models methods and cases”. Taylor & Francis, London, 1986.
- Veslin, E., Slama, J., Dutra, M., Lengerke, O. “Análisis Cinemático de un Exoesqueleto de Partes Superiores de 7 GDL”, 2007. <<http://catic.unab.edu.co/2congresomecatronica/images/docum/3.pdf>>
- Wang, X., Verriest, J. P.. “A geometric algorithm to predict the arm reach posture for computer-aided ergonomic evaluation”, The Journal of Visualization and Posture Animation, 1998, pp. 33-47.
- Yang, N.F., Jin, D. W., Zang, M., C.H. Huang, R.C. Wang. “A Function description for the human upper limb pointing movements performance”. 23rd Annual EMBS International Conference, Octubre 25-28, Estambul, Turkia 2001.