

Análisis del levantamiento manual de cargas en operadores: evaluación de esfuerzos

Parreño Carolina

<https://orcid.org/0000-0001-5023-214X>

cdparreno1@utpl.edu.ec

Ingeniería en Logística y Transporte, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad Técnica Particular de Loja UTPL, Loja-Ecuador

Zúñiga Maria-José

<https://orcid.org/0000-0001-8040-9022>

majosezu30@gmail.com

Escuela Politécnica Superior del Chimborazo, Riobamba-Ecuador

Vargas Katty

<https://orcid.org/0000-0002-4832-1386>

gilyux@gmail.com

Hospital Guayaquil Abel Gilbert Pontón Guayaquil-Ecuador

Torres Alex

<https://orcid.org/0000-0001-6691-169X>

alejomar97@gmail.com

Department of Integrated Security, Tarqui Army Third Division, Ecuadorian Army, Cuenca-Ecuador

Recibido(21/04/2022), Aceptado (09/06/2022)

Resumen—En este artículo se presentan los resultados de las evaluaciones de los esfuerzos mecánicos asociados a la realización de tareas de levantamiento manual de cargas y que deben soportar los operadores en sus sitios de trabajo, considerando para ello los casos y posiciones más recurrentes. Este estudio se basa en un análisis estático de ciertas posiciones específicas del cuerpo humano, la transmisión de las fuerzas a través de la estructura musculoesquelética y generación de esfuerzos en puntos críticos del cuerpo. Adicional a esto se considera una revisión de los criterios de la Norma Técnica Española NTP-477. Existen puntos críticos de la estructura musculoesquelética que soportan esfuerzos de manera considerable, las recomendaciones y criterios proporcionados por la NTP-477 son pertinentes y aunque limitados, brindan un margen de seguridad adecuado para evitar lesiones en los trabajadores.

Palabras clave: levantamiento de cargas, operadores, esfuerzos mecánicos, NTP-477

Analysis of the Manual Lifting of Loads in Operators: Evaluation of Efforts

Abstract— This article presents the results of the evaluations of the mechanical stresses associated with the performance of manual lifting tasks of loads and those operators must endure in their workplaces, considering for this the most recurrent cases and positions. This study is based on a static analysis of certain specific positions of the human body, the transmission of forces through the musculoskeletal structure and the generation of efforts at critical points of the body. In addition to this, it is considered a revision of the criteria of the Spanish Technical Standard NTP-477. There are critical points of the musculoskeletal structure that support considerable efforts, the recommendations and criteria provided by the NTP-477 are relevant and although limited, provide an adequate margin of safety to avoid injury to workers.

Keywords: lifting loads, operators, mechanical stresses, NTP-477



I. INTRODUCCIÓN

El levantamiento y mal manejo de las cargas en operadores de la industria son causas comunes de la aparición de fatiga física y lesiones que a su vez pueden ocasionarse a consecuencia de pequeños traumatismos que pasan desapercibidos [1]. Como producto de estas afectaciones se pueden generar contusiones, heridas, fracturas y lesiones de carácter musculoesquelético, siendo las zonas más comunes y afectadas las que corresponden a los miembros superiores, espalda y sobre todo en la zona dorsolumbar. A pesar de que las lesiones, antes mencionadas, no implican riesgos mortales, requieren de largos períodos de recuperación, tiempo en el cual, el trabajador queda incapacitado para realizar su trabajo y actividades con normalidad.

Según lo expresado en la guía técnica del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), la carga máxima de compresión para la aparición de riesgo de lumbalgia es de 3.4 kN [2]. La disposición de la carga puede generar un momento que transmita esta carga hacia las vértebras y crear riesgos en la zona dorsolumbar.

En este documento se realizará evaluaciones mecánicas sobre esfuerzos en la articulación de la zona glenohumeral y de compresión de la zona lumbar que corresponde a las vértebras de la L1 a L5 debido a ciertas posiciones estáticas en las que se levanta comúnmente la carga [3], se evaluó la influencia de la posición de la carga sobre la magnitud de esfuerzos y se contrastarán estos resultados con las recomendaciones propuestas por la nota técnica NTP-477.

En este artículo se presenta en la sección de desarrollo las evaluaciones de los esfuerzos en función de posiciones y cargas variables, en la sección de metodología se detallan los criterios y fundamentos matemáticos empleados en las evaluaciones de esfuerzos, momentos y fuerzas. En la sección de resultados se describen los criterios de referencia, hallazgos obtenidos y finalmente se presentan las conclusiones.

II. DESARROLLO

La Norma Técnica de Prevención NTP-477 [2], considera el levantamiento de la carga basando su estudio en distancias horizontales, verticales, una serie de parámetros que permiten el empleo de la ecuación de NIOSH (1) y el índice de levantamiento de carga (2).

$$LPR = LC \cdot HM \cdot VM \cdot DM \cdot AM \cdot FM \cdot CM \quad (1)$$

en donde, LC es la constante de carga, HM es el factor de distancia horizontal, VM es el factor de altura, DM es el factor de desplazamiento vertical, AM es el factor de asimetría, FM es el factor de frecuencia, CM es el factor de agarre.

$$\text{Índice de levantamiento} = \frac{\text{carga levantada}}{\text{límite de peso recomendado}} \quad (2)$$

El índice de levantamiento es un valor de referencia para la comparación de los casos y un mayor número de este índice implica un mayor riesgo. La carga levantada se considera en kg y el límite de peso recomendado (LPR) se evalúa con ayuda de (1). Las ecuaciones antes descritas se emplean con referencia a la disposición de variables según el esquema gráfico de la figura 1.

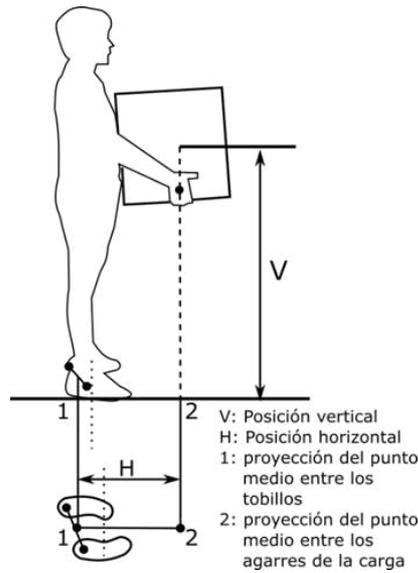


Fig 1. Identificación de parámetros para el levantamiento de cargas

Como se aprecia en la figura 1, los parámetros V y H hacen referencia a la posición vertical y horizontal del punto de sujeción de la carga, respectivamente [4]. En la NTP 477 se especifica consideraciones para cuando la carga se ubica horizontalmente a una distancia mayor y menor a 25 cm. Adicional a esto, se considera que una distancia horizontal H mayor a 63 cm puede dar lugar a un levantamiento con pérdida de equilibrio.

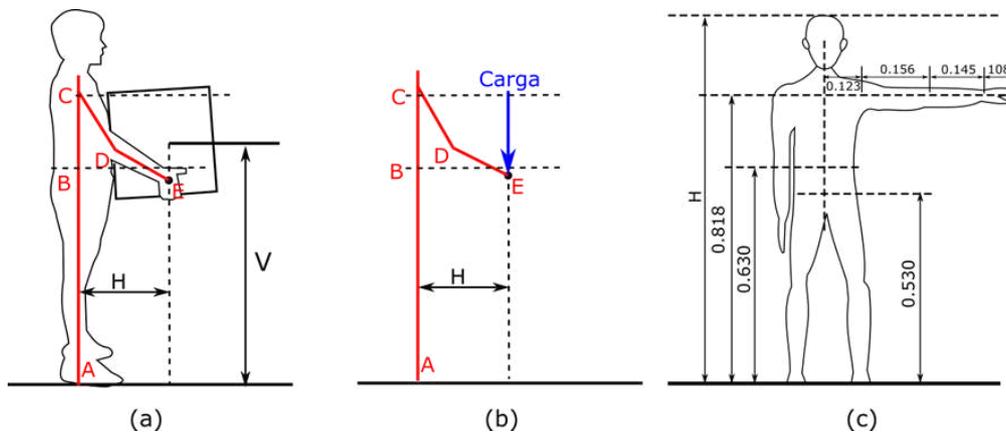


Fig 2. Identificación de parámetros para el levantamiento de cargas

Existen múltiples consideraciones para el estudio de los esfuerzos que deben soportar los brazos y la zona lumbar de los operadores en sus labores de carga [5], por ejemplo, la resistencia de la estructura muscular esquelética se compone de un conjunto de músculos que en ocasiones son quienes soportan toda la carga o su mayor parte y en otras ocasiones son los huesos los que contribuyen asumiendo la resistencia a la mayor parte de las cargas aplicadas.

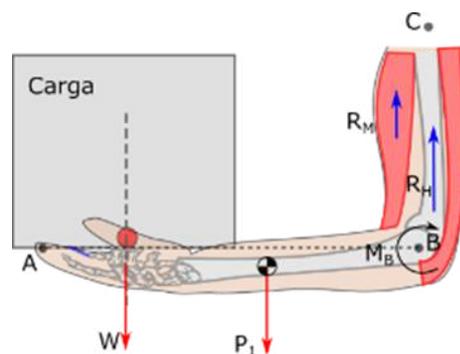


Fig 3. Esquema de fuerzas implicadas en el proceso de levantamiento de cargas.

La figura 3 presenta un esquema de la distribución de fuerzas que soporta el brazo en la que W representa el peso de la carga, P_1 es la carga del peso de la porción de brazo que está entre los puntos A y B [6]. Se observa, además, que existen dos tipos de reacciones R_M y R_H . Las reacciones de tipo R_M corresponden a la fuerza de reacción que ejecutan los músculos para mantener la porción de brazo AB en la posición de la figura para lo cual el musculo deberá comprimirse en la parte delantera y estirarse en la parte trasera. La fuerza R_H es la fuerza que soporta el hueso para evitar que el conjunto carga-brazo (porción A-B) caigan al piso.

Para definir y estudiar las fuerzas que se distribuyen en la zona de la articulación glenohumeral, se considera de utilidad el criterio propuesto en el estudio de [7], en cuyo documento se abordan aspectos sobre la resistencia considerada en el diseño de implantes de brazos completos que se rigidizarán en la zona del hombro y cuyas fuerzas se aproximan a las máximas tolerables en condiciones reales evaluadas en actividades rutinarias del diario vivir.

La fuerza de contacto del hombro durante el levantamiento de una carga posee límites como los que se destacaron en la figura 4 en la que se toma en cuenta a una persona levantando una caja desde la parte inferior hasta ubicar la carga por encima de su cabeza. Un valor de referencia obtenido en un estudio propone que el contacto que se realiza en la región glenohumeral puede llegar al 50% del exceso del peso del cuerpo humano [8], con lo cual, si se estima un peso de 70.2 kg que corresponde al peso de una persona promedio para el caso del Ecuador, entonces esta fuerza máxima podría considerarse de 105.3 Kg. Si se toma en cuenta el valor anterior como límite superior, se podrá determinar con el estudio del esfuerzo mecánico, los límites en carga y distancia para los cuales esto implica riesgos considerables sin tomar en cuenta el criterio de [7] que concluye que la resistencia muscular varía con el tiempo para el levantamiento con mano dominante (PD), mano no dominante (PN) y para cuando la carga está siendo trasladada en la mano dominante (TD) y la mano no dominante (TN). Según la figura 3b, la fuerza de compresión que puede realizar un músculo varía en función inversa al tiempo en el que realiza dicho trabajo.

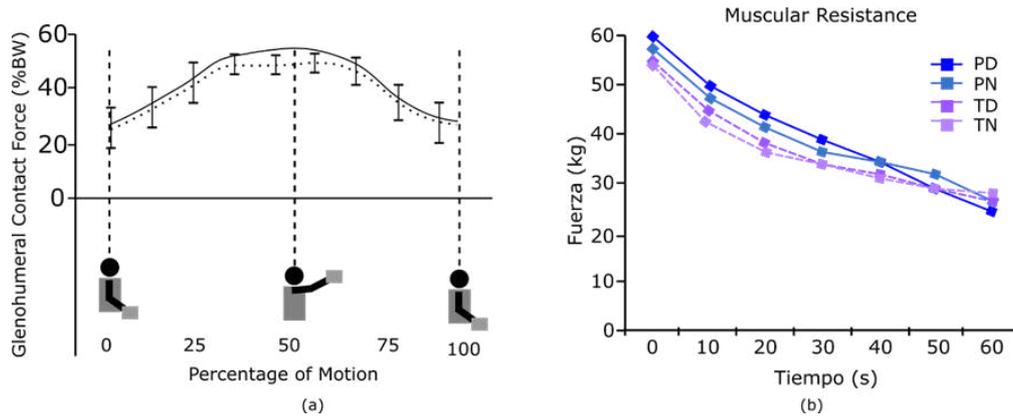


Fig 4. (a) Fuerza de contacto en la zona glenohumeral debido al movimiento de una carga respecto del peso del cuerpo, (b) reducción de la resistencia a la compresión muscular en función del tiempo.

La fuerza de contacto que se ha establecido como límite máximo en base al estudio de [9], se distribuye en la junta presentada en la figura 4 en la que estas fuerzas se descomponen en fuerza de compresión F_c y fuerza cortante F_s , predominando la fuerza F_s .

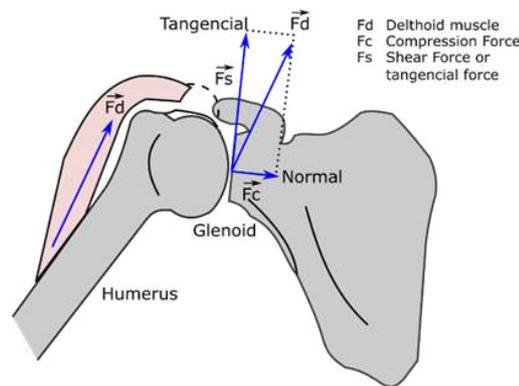


Fig 5. Fuerzas asociadas a la junta en la zona Glenohumeral

Una vez explicado el fenómeno de transmisión de fuerzas [10] hacia la región del hombro (figura 3), se empleó para el análisis mecánico, la formulación para la determinación del esfuerzo cortante [11] de la ecuación 2.

$$\tau = \frac{F_s}{A} \quad (2)$$

en donde, τ es el esfuerzo cortante en Mpa, F_s es la fuerza cortante y A es el área en m². El valor del momento generado por la carga y el peso del brazo, puede determinarse con el uso de la ecuación 3 [12], adicional a esto, las distancias deben considerarse como variables a fin de observar como varía el esfuerzo en la junta glenohumeral.

$$M = F * d \quad (3)$$

en donde M es el momento generado por una fuerza F aplicada a una distancia . Debido al efecto de las fuerzas W y P y considerando la expresión de la ecuación 3, se tendría la ecuación 4 como sigue:

$$M = W(0.186H\text{sen}\theta_1 + 0.46H\text{cos}\theta_2 + 0.054H) + P1(0.186H\text{sen}\theta_1 + 0.23H\text{cos}\theta_2) \quad (4)$$

en donde, es la estatura del trabajador, son los ángulos del antebrazo y brazo que se han obtenido a partir de las proporciones de la figura 3c [13] y se han graficado conservando sus proporciones en las distintas posiciones para la sujeción levantamiento de una carga a distintas distancias respecto del eje central del trabajador. Se consideraron para la figura 5, posiciones horizontales para la carga en un rango de valores de los 25 hasta los 60 cm en incrementos de 5 cm.

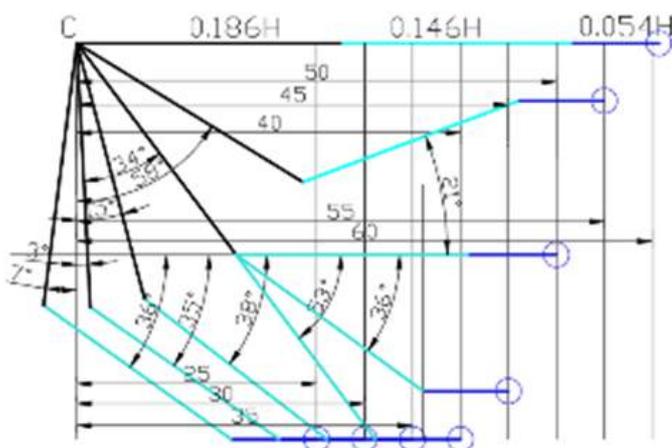


Fig 6. Distintas posiciones del Antebrazo y Brazo para el levantamiento de una carga

La figura 6 presenta unas líneas negras que corresponden al antebrazo, las líneas de color cyan representan el brazo y la línea azul es la mano de un trabajador. Se ha dibujado estas longitudes en función de las proporciones de la figura 3c. se observan los ángulos de inclinación que son empleados en la ecuación 4 a partir de los cuales se puede determinar la torsión y el esfuerzo torsor en la junta de la zona glenohumeral (figura 7).

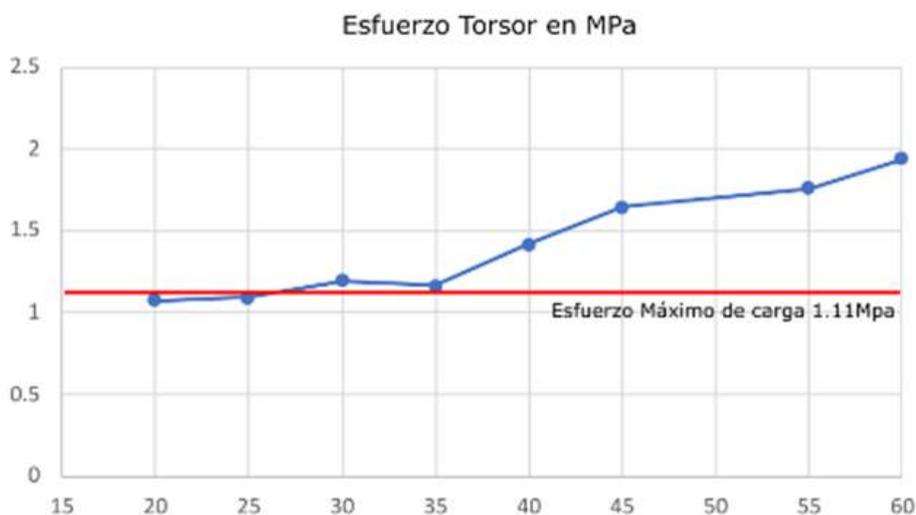


Fig 7. Esfuerzo torsor aplicado en la junta Glenohumeral debido al levantamiento de una carga con una sola mano

La línea roja de la figura 7 hace referencia al esfuerzo cortante máximo que puede ser soportado por la junta glenohumeral y debido a la fuerza de contacto máxima que se especifica en la figura 4a. por otra parte la línea azul corresponde al esfuerzo cortante por torsión debido al efecto de la carga y su distancia horizontal al ser elevada. Ambos esfuerzos cortantes se compararon debido a su naturaleza. Según la gráfica, una distancia superior a los 35 cm con una carga que 20 libras generará un esfuerzo similar al de límite máximo recomendado en el estudio de [7].

Se observa en la figura 7 que el esfuerzo torsor aplicado en la región del hombro se incrementa de forma considerable cuando la distancia supera los 35 cm medidos de forma horizontal desde el punto C (figura 2a). EL esfuerzo se mantiene con poca variación y bajos valores para distancias menores a 25 cm. Este valor de 25 cm también es tomado en cuenta como punto de referencia en la nota NTP-4, para el cálculo del factor de distancia horizontal requerido en la ecuación de NIOSH. Según lo comentado en NTP-477, cuando una carga se encuentra a una distancia horizontal mayor a los 63 cm el operador puede someterse a situaciones de pérdida de equilibrio, por lo cual se recomienda no sobrepasar ese límite, mientras que se considera que valores menores a 25 cm posee una mejor condición de carga y mejor estabilidad.

III. METODOLOGÍA

A. *Evaluación del Esfuerzo Mecánico aplicado a la región glenohumeral.*

Para el cálculo del esfuerzo que se aplica en la zona glenohumeral se han considerado criterios de análisis mecánicos, a partir de los cuales, se calculó la torsión transmitida por el efecto de una carga ubicada a distancias variables y horizontales respecto del punto de la zona del hombro. Por otra parte, se calculó el esfuerzo cortante de acuerdo a la fuerza de contacto máxima actuando como fuerza tangencial en la misma zona de la estructura musculoesquelética [14]. Para la determinación del momento realizado por la carga y de acuerdo con las posiciones del antebrazo, brazo y mano, se realizaron un conjunto de esquemas gráficos con las posiciones para distintas distancias horizontales y tomando en cuenta las proporciones antropométricas para la población ecuatoriana. Como primer aspecto a resolver se realizaron esquemas gráficos para hallar las posiciones del brazo, antebrazo y mano cuando se sujeta una carga a una distancia horizontal del hombro hasta que se la eleva a la altura del hombro.

B. *Revisión de los criterios de la NTP-477.*

Se realizó una revisión de los aspectos relacionados con el levantamiento manual de cargas que se aborda en la NTP-477, en la misma que existen valores de referencia para permitir que el trabajador opere en buenas condiciones minimizando el riesgo de adquirir lesiones de carácter lumbar o dolores en la zona glenohumeral [15], algunas de estas consideraciones se tomaron en cuenta en este estudio. Se consideraron algunos parámetros como la distancia horizontal hasta la carga desde el plano Sagital del cuerpo del trabajador, parámetro empleado en la solución de la ecuación de NIOSH abordado en la norma Técnica de Prevención NTP 477. Se contrastó el estudio mecánico con los criterios descritos en la norma NTP 477 para corroborar la fiabilidad de este método y las fuerzas que se toman en cuenta como máximas en el estudio del levantamiento de cargas en los trabajadores.

IV. RESULTADOS

A partir del desarrollo del presente trabajo, se hallaron estudios sobre la resistencia muscular en compresión, presentándose estudios que sustentaban que la fuerza con la que un musculo puede contraerse para ejecutar un trabajo, se ve reducida notablemente con el tiempo de tal manera que en un tiempo de 60 segundos, la fuerza que el musculo puede aplicar se ha reducido a un 20% de su capacidad.

De la realización del análisis mecánico de los esfuerzos aplicados durante el levantamiento de la carga, se halló una posición crítica cuando el operador levanta una carga a una distancia mayor a los 25 cm respecto de la posición del hombro, en cuyo caso el esfuerzo se ve incrementado considerablemente y de forma lineal generando riesgos considerables, tomando como referencia una carga de 20 libras.

NO se han considerado criterios de estabilidad a más de lo contemplado en la normativa NTP 477 en la cual existe una distancia segura que permite la estabilidad del trabajador cuando este eleva una carga a una distancia horizontal considerable y en todos los casos menores a 63 cm. Los cálculos se han determinado considerando que el apoyo del trabajador es firme y no contempla desequilibrio de ningún tipo en la posición de carga. Adicional a esto, no se ha contemplado el estudio para cargas repetitivas, que puede ser motivo de estudios posteriores.

CONCLUSIONES

El análisis mecánico realizado en este estudio proporciona información sobre la distancia horizontal máxima con respecto al eje vertical del cuerpo humano con un valor de 25 hasta 35 cm para elevar una carga de 20 libras, rango en el cual, el esfuerzo cortante aplicado en la zona glenohumeral es estable y reducido frente a distancias mayores a 35 cm en las cuales los valores de los esfuerzos se incrementan de manera proporcional contribuyendo con mayores riesgos de traumatismos en las zonas glenohumeral y dorsolumbar.

La estabilidad para mantener firme una carga sin riesgos de caída depende en gran manera de la posición de los pies con respecto a su distancia de separación, la posición del centro de gravedad del operador, la posición horizontal de la carga, la magnitud de la carga, el tipo de sujeción, la distancia vertical y otros múltiples parámetros que se emplean en la ecuación de NIOSHI contemplada en la Norma Técnica de Prevención NTP 477 propuesta por el Instituto Nacional de Salud y Seguridad en el Trabajo.

No se considera en los estudios convencionales múltiples parámetros como la influencia de la fuerza de compresión frente a cargas repetitivas ni la reducción de la fuerza en función del tiempo de sujeción, adicionalmente no se consideran estudios que contemplen más de una carga, como es el caso de actividades del ejército en las que se realizan tareas de carga y transporte usando a la vez mochilas o cargando armamento de peso considerable por tiempos prolongados.

REFERENCIAS

- [1] L. Ruiz, «Manipulación Manual de Cargas Guía técnica del INSHT,» Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, pp. 1-30, 2022.
- [2] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene, «NTP 477: Levantamiento manual de cargas: ecuación del NIOSH,» Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España, pp. 1-10, 1998.
- [3] J. Restrepo y M. Molina, «Vértebra limbus, rara causa de dolor lumbar en jóvenes,» Revista Colombiana de Reumatología, vol. 27, nº 2, pp. 120-122, 2019.
- [4] SEISAO, «Métodos de Evaluación de Levantamiento Manual de Carga,» Colibri Publicidad, 30 Agosto 2021. [En línea]. Available: <https://seinsaoecuadoruio.com/metodos-de-evaluacion-de-levantamiento-manual-de-carga/>. [Último acceso: 2022 jun 20].
- [5] M. Mendinueta, Y. Herazo, R. Rebolledo y R. Polo, «Differences in postural risk and in the perception of musculoskeletal diseases in urban transport,» Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica, vol. 36, nº 6, pp. 174-178, 2017.
- [6] Ergonautas, «Bio-Mec,» Universidad Politécnica de Valencia, 2022. [En línea]. Available: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/biomecanica/biomecanica-ayuda.php>. [Último acceso: 2022 jun 20].
- [7] J. Barrionuevo, D. Furctuoso, E. Hernández y I. Martínez, «Fuerza máxima y resistencia muscular de agarre manual en regatistas de vela ligera de la clase Tornado,» Apuntes Sport Medicine, vol. 42, nº 156, pp. 161-168, 2007.
- [8] C. Klemt, J. Rpinold, S. Morgans, S. Herrero, D. Nolte, P. Reilly y A. Toro, «Analysis of shoulder compressive and shear forces during functional activities of daily life,» Clinical Biomechanics, vol. 54, pp. 34-41, 2018.
- [9] S. Mebarki, B. Aour, F. Jourdan, E. Malachane y A. Haken, «A Study of the Biomechanical Behavior of the Implantation Method of Inverted Shoulder Prosthesis (BIO-RSA) under Different Abduction Movements,» Bioengineering, vol. 6, nº 1, 2019.
- [10] C. Klemt, Prinold, S. Morgans, S. Smith, D. Nolte, P. Reilly y A. Bull, «Analysis of shoulder compressive and shear forces during functional activities of daily life,» Clinical Biomechanics, vol. 54, pp. 34-41, 2018.
- [11] G. Seckin, N. Seckin y R. Yurtal, «Boundary shear stress analysis in smooth rectangular channels,» Canadian Journal of Civil Engineering, vol. 33, nº 3, pp. 106-110, 2006.
- [12] H. Naohum, «Moment-to-force ratio,» American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics, vol. 134, nº 2, pp. 176-177, 2008.
- [13] S. Detro, «Ergonomía,» [En línea]. Available: https://docs.ufpr.br/~silvana.detro/Ergonomia/Aula%2004_Antropometria.pdf. [Último acceso: 21 jun 2022].
- [14] S. Oiseth, L. Jones y E. Maza, «Lecturio,» 9 march 2022. [En línea]. Available: <https://www.lecturio.com/es/concepts/complejo-articular-del-hombro/>. [Último acceso: 21 jun 2022].
- [15] Gobierno de Aragón, Manipulación Manual de cargas, Aragón : Secretaría de Industria, Innovación, Salud Laboral y Medio Ambiente de UGT Aragón, 2009.

LOS AUTORES



Carolina Parreño, Master universitario en Dirección Logística Universidad Internacional de la Rioja (España), Ingeniera en Gestión de Transporte Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Ecuador), Docencia Universitaria 2018-2020 Universidad de las Fuerzas Armadas 2021 hasta la presente fecha Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL) Directora de la carrera de Ingeniería en Logística y Transporte 2021 hasta la presente fecha. Áreas de investigación Transporte,



Katty Yuxeky Vargas Romero, Educación superior Medico general graduada en el Universidad de Guayaquil, Máster en infecciones por el Virus de inmunodeficiencia Humana, Máster en Seguridad y salud del trabajo.



María José Zúñiga, Médico General , Máster en Salud Ocupacional, , proyectos encaminados al seguimiento del impacto generado como consecuencia de la pandemia por COVID-19, además de vigilancia de la salud de los pacientes.



Alex Martín Torres Jumbo, Artillery Major, Ecuadorian Army, Tarqui Army Third Division, Head of the Department of Integrated Security. Bachelor of Military Sciences, "Eloy Alfaro" Military High School (Ecuador). Instructor of the Training Center and Joint Anti-Aircraft Artillery "Tcrn. Octavio Icaza" School of the Joint Command of the Armed Forces of Ecuador 2004-2006. General Inspector of the Armed Forces Educational Unit. Military College No. 1 "Eloy Alfaro"; 2017-2018. Research area: Human Resources, Safety and Accident Prevention, Flight Safety and Human Factors, Investigation of Occupational Accidents in the Armed Forces, Safety, Health and Environment Management Administration, Error Management.