

Determinación de fuerza de agarre en operadores de producción de una industria médica de Ciudad Juárez

Determination of hand grip of production operators of a medical industry at Ciudad Juarez

Javier Azael Ayala-Gutiérrez¹, Karla Gabriela Gómez-Bull¹✉, Juan Luis Hernández-Arellano¹, María Marisela Vargas-Salgado¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez / Instituto de Ingeniería y Tecnología.

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar la fuerza de agarre aplicada en los 5 niveles de abertura del dinamómetro hidráulico Jamar en operadores de producción de una industria médica en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. La muestra se conformó por 54 participantes mayores de edad. Se obtuvieron medidas con un dinamómetro hidráulico de Jamar solo de la mano dominante. Para determinar diferencias significativas en los niveles de abertura se realizó un análisis ANOVA de un solo factor con el software Minitab 20, el cual dio como resultado un valor p menor que $\alpha=0.05$, con un nivel de confianza del 95 %. La abertura óptima en el que se obtuvo mayor aplicación de fuerza de agarre tanto en hombres como en mujeres fue en el nivel 2, obteniendo una media de 41.33 kgf para los hombres y 26.74 kgf para las mujeres, mientras que el nivel donde se obtuvo menor aplicación de fuerza fue el 5 para ambos géneros. Se concluyó que el nivel de abertura del dinamómetro influye de forma significativa sobre la aplicación de fuerza, por lo que es importante que estas consideraciones sean tomadas en cuenta al momento de diseñar herramientas manuales de trabajo.

PALABRAS CLAVE: fuerza de agarre; antropometría; biomecánica.

ABSTRACT

The present research has as main purpose to determine the hand grip applied on the 5 levels opening of the Jamar's hydraulic dynamometer on production operator of the medical industry at Ciudad Juárez. The sample consisted by 54 participants, all of them adults. The averages were obtained with a Jamar's hydraulic dynamometer, only of the dominant hand. To obtain the significant differences on the opening levels, an ANOVA analysis was made of only one factor on the 20 Minitab software, which showed as result a p value less than $\alpha=0.05$, with a 95% of confidence level. The optimal opening in which the operators had the highest hand grip, as in men and as in women, was on level 2, obtaining an average of 41.33 kgf for men, and a 26.74 kgf for women. The level where the applied strength was lower, was the 5 for both genders. It was concluded that the opening level of the dynamometer influences significantly on the applied hand grip, consequently it is important that these considerations must be taken in count at the moment of designing working tools.

KEYWORDS: grip strength; anthropometry; biomechanics.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Karla Gabriela Gómez Bull
INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez / Instituto de Ingeniería y Tecnología / Depto. de Ingeniería Industrial y Manufactura
DIRECCIÓN: Av. del Charro núm. 450 norte, col. Partido Romero, C. P. 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua, México
CORREO ELECTRÓNICO: karla.gomez@uacj.mx

Fecha de recepción: 29 de mayo de 2022. **Fecha de aceptación:** 27 de agosto de 2022. **Fecha de publicación:** 31 de agosto de 2022.



I. INTRODUCCIÓN

Para el ser humano, las manos son herramientas de gran utilidad que sirven para realizar funciones mecánicas, sensitivas, de protección e incluso de comunicación [1]. Una de las principales funciones de la mano es la presión, la sujeción o el agarre de objetos tales como pasamanos, teléfonos, volantes y herramientas manuales [2]. Para estas actividades, se requiere *fuerza de agarre*, la cual ocurre cuando se sujeta un objeto entre el dedo pulgar y/o todos los dedos y la palma de la mano [3]. También puede ser definida como la capacidad cuantificable para ejercer presión con la mano y/o con los dedos [4], por tanto, es el resultado de un gran esfuerzo o el esfuerzo máximo aplicado por la mano [5].

Es importante integrar principios ergonómicos, especialmente en cuestiones de biomecánica, en el diseño de herramientas manuales, ya que a través de ellos se puede reducir la cantidad de fuerza muscular requerida durante los trabajos manuales [6] que se caracterizan por la capacidad de presión de agarre con las manos. La medición de la fuerza de agarre se lleva a cabo con el fin de diagnosticar o evaluar alteraciones en mano y muñeca en un periodo de tiempo determinado, tales como el Síndrome de Túnel Carpiano, que es un trastorno frecuentemente relacionado con trabajos repetitivos y la aplicación de fuerza, como los llevados a cabo en el ámbito laboral [7], [8].

La industria médica se caracteriza por la elaboración de productos para la salud y bienestar del ser humano. Dado que una gran parte de su producción es artesanal, con una naturaleza compleja que requiere una cantidad considerable de participantes involucrados en la manufactura, el reto de estas organizaciones es saber maximizar recursos y esfuerzos para así ser más eficientes y eficaces [9] en ramas tales como la farmacéutica, alimentos, suplementos nutricionales, dispositivos y biotecnología [10].

En este tipo de industrias, el personal de producción comúnmente hace uso de la fuerza de agarre durante el proceso de elaboración de ciertos productos, lo que, a su vez, combinado con movimientos constantes, en el transcurso del tiempo se puede generar una incomodidad, fatiga muscular o en algunos casos desarrollar trastornos músculo esqueléticos [3]. Últimamente, en gran cantidad de trabajos se aplica la fuerza de agarre para manipular herramientas [11].

Por esta razón, es importante llevar a cabo de manera frecuente un diagnóstico ergonómico del trabajador acerca de la forma en que utiliza las herramientas manuales y las lesiones que de ahí puedan derivarse. El dinamómetro de mano es un instrumento de fácil manejo que mide la fuerza ejercida por los músculos del antebrazo [12], misma que se ve influenciada por la postura, edad, sexo, determinadas características antropométricas [13] y la ocupación [11].

La presente investigación tiene como objetivo determinar la fuerza de agarre en una muestra de operadores de producción que laboran en una empresa líder en la manufactura de productos médicos en Ciudad Juárez, Chihuahua, México, lo cual permitirá evaluar sus capacidades máximas de aplicación de dicha fuerza y conocer sus limitaciones. Además, estos datos podrían servir de base para el diseño futuro de tareas o herramientas manuales que implican aplicación de fuerza de agarre para, de esta forma, prevenir la presencia de lesiones músculo esqueléticas.

II. METODOLOGÍA

MATERIALES

Los materiales utilizados en esta investigación fueron una hoja de consentimiento, en la cual se le informó al participante que el estudio no representaba ningún riesgo para su salud, y una serie de preguntas para identificar aquellos participantes que tuvieran antecedentes de lesiones en miembro superior.

Para medir las dimensiones antropométricas se utilizó el equipo de antropometría ErgoTech Mx (Figura 1), conformado por un antropómetro para las dimensiones de la mano, un cono de empuñadura para medir la circunferencia de agarre y un dinamómetro hidráulico marca Jamar, mismo que cuenta con 5 niveles de abertura (Figura 2).

MÉTODO

En el área de producción de la empresa mencionada laboran 73 operadores. Para lograr que la muestra fuera significativa, se seleccionó un tamaño de 54 sujetos sin antecedentes de lesiones en miembros superiores y se consideró un nivel de confianza 95 %. La muestra fue obtenida en función de la disponibilidad de los trabajadores.

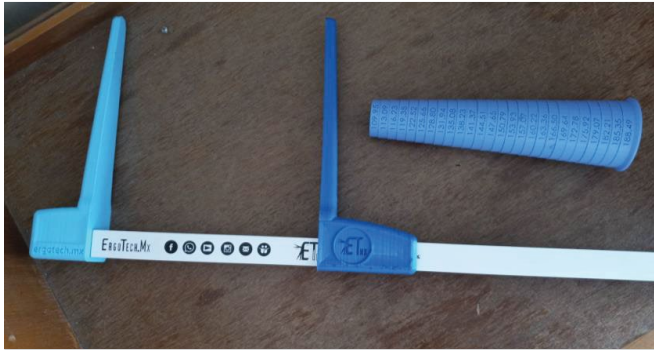


Figura 1. Equipo de antropometría ErgoTech Mx.

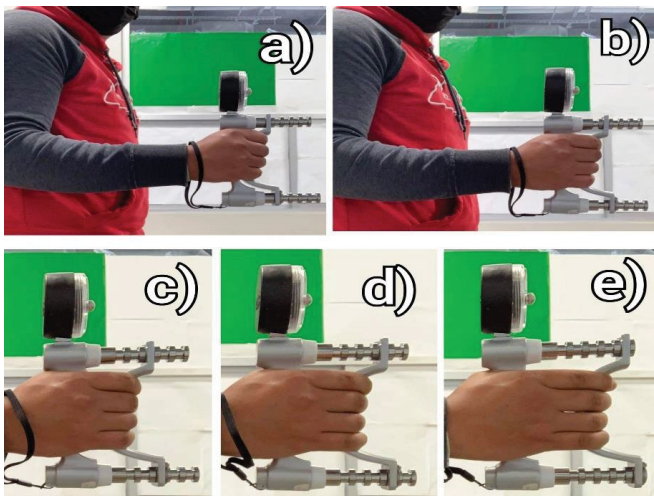


Figura 2. Niveles de apertura del dinamómetro hidráulico de Jamar; a) nivel 1, b) nivel 2, c) nivel 3, d) nivel 4, e) nivel 5.

Después de haber seleccionado la muestra, se reunió a los participantes para darles las indicaciones acerca del estudio a realizar, explicarles en qué consistía este, señalarles que no representaba ningún riesgo para su salud y que si aceptaban participar firmarían la hoja de consentimiento. Se descartaron aquellos que tuvieran lesiones músculo esqueléticas en la mano dominante y, al final, quedaron 54 participantes.

Para medir las dimensiones antropométricas: ancho máximo de la mano, ancho de la mano sin tomar en cuenta el dedo pulgar, se pidió a los participantes que extendieran su mano dominante (Figura 3).

Enseguida se midió la circunferencia de agarre con el cono de empuñadura, para lo cual se indicó a los participantes que unieran su dedo pulgar y dedo medio y se deslizara sobre el cono de empuñadura hasta que estos ya no pudieran permanecer unidos, como se muestra en la Figura 4.

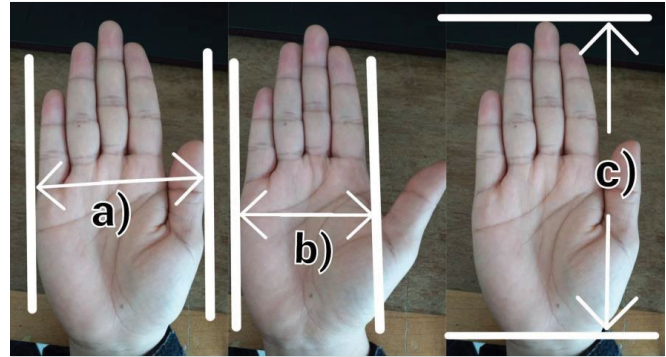


Figura 3. Mediciones antropométricas de la mano; a) ancho máximo, b) ancho de la mano, c) longitud de la mano.



Figura 4. Cono de medición de empuñadura ErgoTech Mx.

A continuación, se utilizó el dinamómetro hidráulico de Jamar, para lo cual se les explicó a los participantes el Protocolo de Caldwell, que consiste en ejercer fuerza de forma gradual durante 3 segundos y sostener dicha fuerza los siguientes 2 segundos [14]. La fuerza de agarre fue determinada mientras el participante se encontraba de pie, con la espalda erguida y codo flexionado a 90° y la muñeca entre 0 y 30° de extensión. La medición se realizó en tres ocasiones para cada nivel y se registró la mayor de estas. Este proceso se repitió para cada uno de los 5 niveles de apertura del dinamómetro, como se muestra en la Figura 2, con 2 minutos de recuperación entre cada intento.

Una vez obtenidos los resultados de la muestra en su totalidad, se elaboró una base de datos utilizando el software de análisis estadístico Minitab 20, con el cual se obtuvieron los estadísticos básicos descriptivos, media, desviación estándar, rango, valores máximos y mínimos. También se realizó un análisis ANOVA para determinar comparaciones estadísticas e identificar la presencia de diferencias significativas en la fuerza aplicada a partir del nivel de apertura del dinamómetro.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se seleccionó una muestra conformada por 54 operadores de producción de una industria médica de Ciudad Juárez que se encontraran disponibles para participar en el estudio, 27 del género femenino y 27 del masculino que voluntariamente accedieron a formar parte de la presente investigación.

Se consideró a quienes cumplieran con los siguientes criterios de inclusión: tener una edad de 18 a 50 años y no presentar enfermedades musculoesqueléticas en miembro superior, y se descartaron aquellos que recientemente se aplicaron la vacuna contra la COVID-19.

La **Tabla 1** contiene los datos antropométricos de la muestra de participantes, donde se puede observar que los hombres tienden a medidas más grandes que las mujeres y la media de longitud de la mano de los hombres es de 18.104 cm, en comparación de la media de las mujeres que es de 16.719 cm. Igualmente, los hombres presentan medidas mayores en el ancho de la mano, el ancho máximo de la mano y la circunferencia de agarre. Todas las medidas fueron tomadas de la mano dominante del trabajador.

TABLA 1
DATOS ANTROPOMÉTRICOS DE LA MUESTRA

DIMENSIÓN ANTROPOMÉTRICA	HOMBRES		MUJERES	
	χ	σ	χ	σ
Longitud de la mano (cm)	18.104	0.768	16.719	1.042
Ancho de la mano (cm)	9.0889	0.5018	8.0	0.536
Ancho máximo de la mano (cm)	10.470	0.712	9.241	0.700
Circunferencia de agarre (mm)	149.16	10.58	140.79	11.06

Los resultados obtenidos para la fuerza de agarre se exponen en la **Tabla 2**. Ahí se encuentran separados por nivel de abertura, lo que permite analizar la fuerza ejercida en kgf en diferentes posiciones de abertura de la mano. Se observa que tanto los hombres como las mujeres presentaron mayor aplicación de fuerza en el nivel 2 del dinamómetro, con una media de 41.33 kgf y 26.74 kgf, respectivamente.

Por otra parte, se puede apreciar que el nivel de abertura del dinamómetro, en el que se aplicó menor cantidad de fuerza para ambos géneros fue el nivel 5, con 30.44 kgf en los hombres y 17.037 kgf en las mujeres.

TABLA 2
RESULTADOS DE FUERZA DE AGARRE ENTRE HOMBRES Y MUJERES EN CADA NIVEL DE ABERTURA

NIVEL DE ABERTURA	HOMBRES		MUJERES	
	χ	σ	χ	σ
Nivel 1 (kgf)	33.96	8.46	22.89	5.42
Nivel 2 (kgf)	41.33	9.29	26.74	6.04
Nivel 3 (kgf)	39.48	9.87	23.59	6.20
Nivel 4 (kgf)	35.33	8.55	20.15	5.48
Nivel 5 (kgf)	30.44	7.31	17.037	4.603

En la **Figura 5** se muestra la fuerza de agarre obtenida por el total de los participantes en el estudio. En cada uno de los niveles de abertura del dinamómetro se puede observar que, en general, el nivel donde se aplicó mayor fuerza fue el nivel 2 con una media de 34.04 kgf, en comparación al nivel 5 que obtuvo la media más baja de 23.74 kgf.

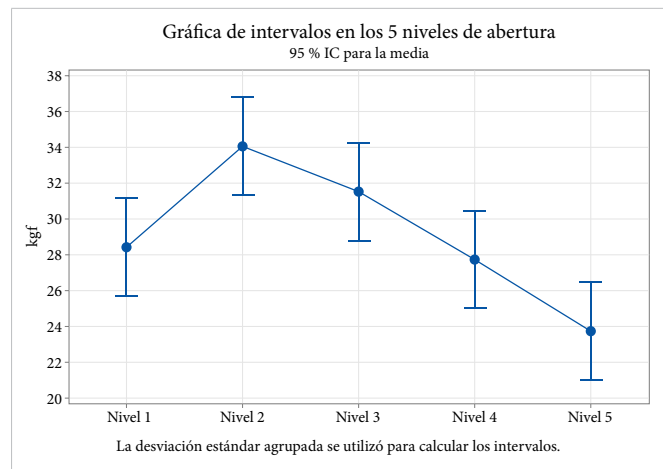


Figura 5. Diferencias de fuerza de agarre entre los cinco niveles de abertura.

Se realizó un análisis ANOVA de un solo factor de la fuerza aplicada por la muestra conformada por 54 operadores de producción a partir del nivel de abertura del dinamómetro para determinar la presencia de diferencias significativas en la aplicación de fuerza de agarre.

Los resultados se muestran en la **Tabla 3**. Se obtuvo un valor de p menor a 0.05, por lo tanto, se cuenta con suficiente evidencia para decir que existe diferencia significativa en la fuerza de agarre aplicada en los cinco niveles de abertura. Esto quiere decir que la abertura de la mano influye sobre la aplicación de fuerza de agarre.

TABLA 3
ANÁLISIS DE VARIANZA

FUENTE	GL	SC AJUST.	MC AJUST.	VALOR F	VALOR <i>p</i>
Factor	4	3312	828.1	7.99	0.000
Error	265	27447	103.6		
Total	269	30759			

También se realizó una prueba de Tukey para hacer comparaciones múltiples y determinar los intervalos de

confianza para las diferencias entre los niveles del dinamómetro. En la [Tabla 4](#) se puede observar que existe diferencia significativa entre los niveles 2 con 1, 4 con 2, 5 con 2 y 5 con 3, ya que sus intervalos de confianza para las diferencias no incluyen al cero y el valor de *p* en estos es menor a 0.5, por lo tanto, se encontró suficiente evidencia para decir que existe diferencia significativa en la aplicación de fuerza de agarre en dichos niveles de abertura.

TABLA 4
PRUEBAS SIMULTÁNEAS DE TUKEY PARA DIFERENCIAS DE LAS MEDIAS (NIVEL DE CONFIANZA INDIVIDUAL = 99.32 %)

DIFERENCIA DE NIVELES	DIFERENCIA DE LAS MEDIAS	EE DE DIFERENCIA	IC DE 95 %	VALOR T	VALOR <i>p</i> AJUSTADO
Nivel 2 - Nivel 1	5.61	1.96	(0.27, 10.96)	2.86	0.034
Nivel 3 - Nivel 1	3.11	1.96	(-2.23, 8.46)	1.59	0.505
Nivel 4 - Nivel 1	-0.69	1.96	(-6.03, 4.66)	-0.35	0.997
Nivel 5 - Nivel 1	-4.69	1.96	(-10.03, 0.66)	-2.39	0.117
Nivel 3 - Nivel 2	-2.50	1.96	(-7.85, 2.85)	-1.28	0.706
Nivel 4 - Nivel 2	-6.30	1.96	(-11.64, -0.95)	-3.21	0.011
Nivel 5 - Nivel 2	-10.30	1.96	(-15.64, -4.95)	-5.26	0.000
Nivel 4 - Nivel 3	-3.80	1.96	(-9.14, 1.55)	-1.94	0.297
Nivel 5 - Nivel 3	-7.80	1.96	(-13.14, -2.45)	-3.98	0.001
Nivel 5 - Nivel 4	-4.00	1.96	(-9.35, 1.35)	-2.04	0.246

IV. CONCLUSIONES

Este tipo de estudios de fuerza de agarre se utiliza con frecuencia para evaluar alteraciones físicas a nivel de mano-muñeca a través del tiempo, ya que se pueden presentar enfermedades musculoesqueléticas por movimientos constantes en ciertos procesos manuales. Por ello, se evaluó una muestra de 54 operadores de producción, hombres y mujeres, de una industria médica de Ciudad Juárez.

El objetivo principal de la presente investigación se cumplió y se obtuvieron resultados significativos. El propósito fue determinar la fuerza de agarre de la mano dominante. De acuerdo a los resultados, los hombres tienen medidas antropométricas más grandes que las mujeres en longitud, ancho, ancho máximo de la mano y circunferencia de agarre. Se concluyó que el nivel de abertura del dinamómetro hidráulico de Jamar donde se optimizó la aplicación de fuerza es el nivel 2 con una media de 34.04 kgf.

Además, en las comparaciones múltiples realizadas con la prueba de Tukey se concluyó que los resultados de

comparación entre niveles de abertura existen diferencias significativas en los niveles 1 y 2, 4 y 2, 5 y 2 y 5 y 3, estos niveles tienen un valor de *p* menor a $\alpha=0.05$. En comparación con los demás niveles de abertura, el nivel 5 es el que presenta una tasa de medición más baja con una media general de 23.74 kgf.

Los hallazgos de este trabajo son una importante contribución para el campo de la ergonomía, específicamente en la biomecánica, ya que amplían la información relacionada con las capacidades de aplicación de fuerza de agarre de trabajadores. A su vez, estos datos son de relevancia para la industria, ya que pueden generarse guías de diseño para herramientas y actividades que involucren la fuerza de agarre, de manera que establezcan límites para aplicar dicha fuerza y se eviten las lesiones músculo esqueléticas en miembro superior.

Dado que es de suma importancia continuar con estudios futuros de determinación de fuerza de agarre, es recomendable que se tomen muestras más grandes y se incluya a otros sectores laborales, como la rama automotriz, química, textil, siderúrgica, militar, turís-

tica y alimentaria. Es importante mencionar que estos ejercicios se pueden llevar a cabo con diferentes tipos de fuerza utilizada para ensambles manuales en la industria, tales como fuerza de pinzamiento, también conocida como agarre de precisión o agarre en forma de pellizco, y de torque o rotación.

REFERENCIAS

- [1] M. G. Coronel, H. Hernández y I. Hernández, "Determinación de la fuerza isométrica de prensión manual gruesa en población en edad laboral con dinamometría obtenida con el equipo terapéutico Baltimore", *Rev Mex Med Fis Rehab*, vol. 30, no. 1-2, pp. 5-11, 2018.
- [2] I. Halim, R. Z. Radin, M. S. Syed, N. Ahmad, A. Saptari y V. Padmanathan, "The Influence of Hand Tool Design on Hand Grip Strength: A Review", *Int. J. Integr. Eng.*, vol. 11, no. 6, pp. 53-69, 2019. doi: 10.30880/ijie.2019.11.06.007.
- [3] P. L. Barraza, V. H. Herrera, J. Macías, M. S. Espinal y K. G. Gómez. (2019). Determinación de fuerza de agarre y antropometría de la mano en una muestra de estudiantes universitarios. Presentado en el Congreso Internacional de Investigación Academia Journals, Oaxaca. [En línea]. Disponible en: <http://cathi.uacj.mx/20.500.11961/8076>
- [4] I. N. Salinas, C. E. Vargas, C. Aveytia y G. Ibarra. (May. 5-8, 2010). Determinación del nivel óptimo de abertura de dinamómetro hidráulico manual para la medición de fuerza máxima de agarre. XIII Congr. Int. de Ergonomía SEMAC, Ciudad Juárez. [En línea]. Disponible en: <http://www.semec.org.mx/images/stories/Congreso2010/we3.pdf>
- [5] R. Jain, M. Lal, M. Kumar y G. Sharan, "Impact of posture and upper-limb muscle activity on grip strength", *Int J Occup Saf Ergon*, vol. 25, no. 4, pp. 614-620, 2018, doi: 10.1080/10803548.2018.1501972.
- [6] S. N. Imrhan y K. Farahmand, "Male torque strength in simulated oil rig tasks: the effects of grease-smear gloves and handle length, diameter and orientation", *Appl Ergon*, vol. 30, no. 5, pp. 455-462, 1999, doi: 10.1016/S0003-6870(98)00054-4.
- [7] P. C. Ramírez y A. Angarita, "Fuerza de agarre en trabajadores sanos de Manizales", *Rev. Col. Reh.*, vol. 8, no. 1, pp. 109-118, 2009.
- [8] B. Wollesen et al., "Influences of Neck and/or Wrist Pain on Hand Grip Strength of Industrial Quality Proofing Workers", *Saf Health Work*, vol. 11, no. 4, pp. 458-465, dic. 2020, doi: 10.1016/j.shaw.2020.06.008.
- [9] L. E. Macías, F. A. Bribiescas, H. S. Lee, J. Barojas y R. Ramírez, "Las competencias del diseñador industrial en la industria médica", *CULCYT*, vol. 52, no. esp. 1, p. 20, 2016, disponible en: <https://revistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/870>.
- [10] G. Genta-Mesa y I. D. Flores, "Relación médico-industria y los conflictos de interés: aspectos históricos y normativos, impactos negativos y propuestas", *IATREIA*, vol. 32, no. 4, pp. 298-310, 2019, doi: 10.17533/udea.iatreia.16.
- [11] M. Saremi y S. Rostamzadeh, "Hand Dimensions and Grip Strength: A Comparison of Manual and Non-manual Workers", en *Proc. of the 20th Congr. of the Int. Ergonomics Association (IEA 2018)*, S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, T. Alexander y Y. Fujita, eds. 2019, pp. 520-529, doi: 10.1007/978-3-319-96065-4_56.
- [12] J. G. Hernández-Martínez, C. Anguita-Vera, P. Asenjo-Flores, M. Solís-Millaguín y C. Asenjo-Paredes, "Niveles de fuerza de agarre de mano y composición corporal de mujeres mayores chilenas", *EFDeportes*, vol. 24, no. 256, pp. 46-58, 2019, disponible en: <https://efdeportes.com/efdeportes/index.php/EFDeportes/article/view/951/908>.
- [13] M. A. Vera-Villavicencio, "Comparación de la Fuerza Mediante el Dinamómetro y las Flexiones de Codo en Personal Militar", *Polo del conocimiento*, vol. 7, no. 67, pp. 263-281, 2022.
- [14] L. Caldwell et al., "A proposed standard procedure for static muscle strength testing", *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, vol. 35, no. 4, pp. 201-206, 1974, doi: 10.1080/0002889748507023.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, que puso a disposición el equipo de medición de fuerza de agarre, a ErgoTech México, que proporcionó el equipo para la toma de mediciones antropométricas, y al personal de la industria de elaboración de productos médicos que participó de forma voluntaria en la presente investigación.