

Comparación de fuerza torque ejercida con cinco diseños de herramienta manual

Torque force comparison with five hand tool designs

^aAlan Paul Rivera, ^bKarla Gabriela Gómez-Bull, ^cMaría Marisela Vargas-Salgado, ^dJuan Luis Hernández-Arellano

-  a Ingeniero Industrial y de Sistemas, al137480@alumnos.uacj.mx, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad de Juárez, México.
 b Maestra en Ingeniería Industrial, karla.gomez@uacj.mx, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad de Juárez, México.
 c Doctora en Ciencias Administrativas, maria.vargas@uacj.mx, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad de Juárez, México.
 d Doctor en Ciencias de la Ingeniería, luis.hernandez@uacj.mx, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad de Juárez, México

Recibido: Febrero 14 de 2020 **Aceptado:** Junio 11 de 2020

Forma de citar: A.P. Rivera, K.G. Gómez-Bull, M.M. Vargas-Salgado y J.L. Hernández-Arellano, "Comparación de fuerza torque ejercida con cinco diseños de herramienta manual", *Mundo Fesc*, vol. 10, no. 20, pp. 7-13, 2020.

Resumen

En la actualidad los procesos de trabajo son altamente automatizados, sin embargo, a pesar de tantos avances en el área industrial, gran parte de las actividades se continúan realizando con el uso de herramientas manuales, es por esta razón que un diseño apropiado es decisivo para prevenir la presencia de trastornos músculo-esqueléticos. Por lo que este trabajo tiene el objetivo de determinar la fuerza de torque ejercida con cinco mangos de desarmador con diferentes diseños, así como el encontrar la existencia de diferencias significativas en la fuerza ejercida con cada uno. Para este trabajo, se tomó una muestra de 73 estudiantes, de los cuales 45 fueron hombres y 28 mujeres, utilizando el analizador digital de torque Mountz Torque Analyzer del modelo EZ-TorQ II 10i, en donde se obtuvieron resultados de fuerza aplicada para los cinco mangos. Como resultados se obtuvo en el mango A una fuerza de 3.98 ± 1.54 Nm, en el mango B; 3.90 ± 1.55 Nm, en el mango C; 3.42 ± 1.25 Nm, el mango D; 3.40 ± 1.23 Nm y por último en el mango E; 3.51 ± 1.28 Nm. A través del Análisis de Varianza se encontró, que efectivamente existe una diferencia significativa en la aplicación de fuerza con el uso de estos diseños de mangos, encontrando que el diseño que optimiza la aplicación de fuerza es el mango A. Los resultados de esta investigación sirven como una guía para el diseño de mangos de herramientas manuales, se recomienda para futuros estudios, tomar en cuenta otro tipo de dimensiones antropométricas del miembro superior, así como ampliar la muestra y el rango de edades de los sujetos de estudio.

Palabras clave: Ergonomía, Fuerza de torque, Herramientas.

Autor para correspondencia:

*Correo electrónico: al137480@alumnos.uacj.mx



Abstract

Nowadays the work processes are highly automated, however, despite so many advances in the industrial area, a large part of the activities continue to be carried out with the use of hand tools, it is for this reason that an appropriate design is decisive to prevent the presence of musculoskeletal disorders. This is why this work has the objective of determining the torque force exerted with five screwdriver handles with different designs, as well as finding the existence of significant differences in the force exerted with each one. For this work, a sample of 73 students was taken, of which 45 were men and 28 women, using the digital torque analyzer Mountz Torque Analyzer of the EZ-TorQ II 10i model, where results of applied force were obtained for the five mangoes. As results, a force of 3.98 ± 1.54 Nm was obtained in handle A, in handle B; 3.90 ± 1.55 Nm, on handle C; 3.42 ± 1.25 Nm, the D handle; 3.40 ± 1.23 Nm and finally on the E handle; 3.51 ± 1.28 Nm. Through the Analysis of Variance, it was found that there is indeed a significant difference in the application of force with the use of these handle designs, finding that the design that optimizes the application of force is handle A. The results of this research serve as a guide for the design of hand tool handles, it is recommended for future studies to consider other types of anthropometric dimensions of the upper limb, as well as to expand the sample and the age range of the study subjects.

Keywords: Ergonomics, Torque Force, Tools.

Introducción

Los seres humanos han evolucionado su conexión con las herramientas que ellos mismos han creado, esto ha ayudado firmemente en el desarrollo de las capacidades anatómicas y cognitivas [1]. Estas herramientas han sido ampliamente utilizadas en diferentes ocupaciones [2], incluso se utilizan tanto para actividades profesionales como para las domésticas [3]. Con el tiempo, esta interacción entre el hombre y las herramientas, ha comprometido un rendimiento óptimo en términos de eficiencia, salud y bienestar humano [4], ya que las herramientas manuales deben estar diseñadas de forma que le proporcione seguridad contra lesiones al usuario, al mismo tiempo de que promueve niveles aceptables de productividad [5]. Este diseño óptimo requiere datos antropométricos y de fuerza específicos [6]. Sin embargo, algunas herramientas no se adaptan a la medida de los individuos que las utilizan, esto hace que los usuarios experimenten disconfort y disminuya su productividad [7].

Uno de los principales retos en el diseño de herramientas manuales se presenta

al tratar de optimizar las dimensiones de la herramienta de acuerdo a las medidas antropométricas de la mano [8]. En las últimas décadas se han realizado numerosos estudios sobre el diseño óptimo de mangos de herramientas de precisión [9]. Previamente se han realizado estudios acerca de mangos de herramienta, proporcionando guías que sirvan para el diseño de las mismas, en el cual se resalta la importancia de desarrollar herramientas que sean cómodas para los usuarios [10].

La mano humana está funcionalmente especializada para la manipulación, y en términos de cognición, las herramientas generalmente se integran en el esquema corporal cuando se utilizan [11]. En muchas ocupaciones, las principales causas de la presencia de trastornos y enfermedades de trabajo, se encuentran relacionadas con el uso de herramientas manuales [12]. Existe evidencia de que las actividades musculares se reducen después de implementar cambios en el trabajo asociados con mejoras en el transporte de materiales, evitando posturas con flexiones profundas, arreglando herramientas manuales y organizando mejor el trabajo [13]. Además, el uso prolongado

de herramientas con diseños ergonómicos pobres, es una de las causas de discomfort y entumecimiento de las manos de los trabajadores

De esta forma se resalta la importancia, del diseño ergonómico de las herramientas, como medida preventiva para la presencia de desórdenes músculo-esquelético en extremidades superiores, es por esto que se dice que el mango es la parte más importante de una herramienta [10]. Dentro del contexto laboral se debe prestar atención para que este diseño proporcione comodidad y por lo tanto tener como resultado una alta calidad del producto.

Es por eso que el presente trabajo tiene como objetivo determinar la fuerza de torque ejercida por una muestra de estudiantes universitarios, a través del empleo de cinco diseños diferentes de desarmadores, con el propósito de identificar si existe diferencia significativa en los mismos, por lo que se plantea la siguiente hipótesis de estudio.

$H_0: A = \mu_B = \mu_C = \mu_D = \mu_E$

$H_1: \text{Al menos una es diferente}$

Materiales y métodos

Para esta investigación se utilizó un diseño de tipo [9]cuantitativo, descriptivo, experimental y de corte transversal. Se hizo uso de un analizador digital de torque Mountz Torque Analyzer del modelo EZ-TorQ II 10i, mismo que es utilizado para herramientas de torque y garantizar que funcionen correctamente [14]. Se emplearon cinco diseños diferentes de mangos o empuñaduras de desarmador, diseñadas por la alumna Vanessa Rosas, del programa de Licenciatura en Diseño Industrial de la misma institución educativa, estos modelos cuentan con huecos en forma hexagonal de 3/4 in, para la introducción de los aditamentos que contiene el torque

digital y así tener un punto de sujeción para la aplicación de fuerza, con diferentes formas, tamaños y superficies, los cuales se muestran en la figura 1. Se diseñó una hoja de consentimiento informado, con el propósito de darle a conocer al participante la finalidad del proyecto, encargado del mismo, además se les explica en este mismo que los resultados mostrados en la prueba eran totalmente confidenciales, el tiempo de duración de la prueba, los requisitos de inclusión para las pruebas, así como los riesgos que conlleva dicho experimento los cuales son nulos y de igual manera que este experimento era enteramente voluntario.



Figura 1. Mangos utilizados para las pruebas de fuerza de torque.

Fuente: Elaboración propia.

Se calculó un tamaño de muestra para poblaciones finitas [15], tomando en cuenta el número de estudiantes inscritos en ese periodo educativo, se encontró que la muestra debía ser de 73 sujetos de estudio. Se invitó cordialmente a los estudiantes del plantel a participar en el experimento, se les proporcionó primero la hoja de consentimiento donde eran informados de los detalles del mismo, una vez firmada la hoja de consentimiento, se le explicaron los pasos de cómo se realizarían dichas pruebas. Una vez aclarado esto, se procedió a recopilar los datos demográficos de cada participante, tales como edad, género, peso, mano dominante y si tenía lesiones en dicha mano, después se obtuvieron sus datos antropométricos; longitud de mano, longitud palmar, ancho palmar, ancho máximo palmar, circunferencia de agarre, longitud

codo a punta de dedo, longitud hombro codo, todo esto medido en milímetros. Si el participante tenía lesiones músculo esqueléticas en la mano dominante se excluía del experimento, debido a que no presentaría resultados confiables y representativos.

La prueba se basó en el protocolo de Caldwell el cual consiste en que el individuo debe estar en posición vertical, cómoda, con los hombros en posición normal, recta en la parte superior e inferior, con el codo a noventa grados, antebrazo y muñeca en posición neutral. Donde se deberá ejercer su fuerza máxima los primeros dos segundos, y mantenerla durante tres segundos restantes,

después registrar el valor máximo obtenido en tres pruebas, para luego descansar por un minuto considerando la fatiga muscular [16].

Ya con la posición correcta, se colocó el mango A de desarmador para que lo incrustara en el torque y comenzara a aplicar fuerza de torque, para concluir la prueba se procedió a anotar los resultados de las tres pruebas con el mango A y se tomó un descanso de 2 minutos para después continuar con el desarmador B, así hasta llegar al último desarmador E, tal como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Medición de fuerza de torque.

Una vez finalizado el muestreo, se obtuvieron estadísticos descriptivos de las variables medidas, además se llevaron a cabo comparaciones de medias, a través del software estadístico Minitab.

Resultados y análisis

En la tabla I se encuentran contenidos los datos correspondientes a los resultados demográficos y antropométricos de la muestra, la cual estuvo conformada por 73 participantes, de los cuales 45 fueron hombres y 28 mujeres, con una edad de 21.57 ± 1.63 años y un peso de 68 ± 16.32 kg. Se tuvo la participación total de 66

personas diestras y 7 zurdas. De acuerdo a las medidas antropométricas tomadas, en general, los hombres tuvieron mayores dimensiones que las mujeres en todas las medidas antropométricas, tales como la longitud de la mano [176.58 ± 12.32 mm], longitud palmar [98.97 ± 8.76 mm], ancho palmar [81.64 ± 8.20 mm], ancho máximo palmar [94.93 ± 8.73 mm], circunferencia de agarre [49.60 ± 4.03 mm], longitud del codo a la punta del dedo [452.32 ± 30.42 mm] y longitud de hombro codo con [352.13 ± 26.01 mm].

Tabla I.

Género	Hombres		Mujeres		Total	
	n= 45		n= 28		n= 73	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ
Edad (años)	21.55	1.71	21.60	1.52	21.57	1.63
Peso (kg)	78.71	14.45	62.82	14.39	72.68	16.32
Longitud de mano (mm)	183.46	8.67	165.53	8.75	176.58	12.32
Longitud palmar (mm)	103.62	6.67	91.5	6.17	98.97	8.76
Ancho palmar (mm)	86.51	4.95	73.82	6.06	81.64	8.20
Ancho máximo palmar (mm)	100.46	5.32	86.03	4.92	94.93	8.73
Circunferencia de agarre (mm)	51.33	3.50	46.82	3.23	49.60	4.03
Longitud codo a punta de dedo (mm)	469.84	20.52	424.17	21.19	452.32	30.42
Longitud hombro codo (mm)	366.08	20.17	329.71	17.19	352.13	26.01

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados.

La tabla II contiene los resultados obtenidos de la fuerza de torque aplicada con cada uno de los mangos. Se puede observar que, en las cinco pruebas, los hombres aplicaron mayor cantidad de fuerza que las mujeres. Además, en general los mangos con los que se aplicó mayor cantidad de fuerza fueron el A y el B con 3.98 ± 1.54 Nm y 3.90 ± 1.55 Nm respectivamente. Por otra parte, el mango con que se aplicó menor cantidad de fuerza fue el mango fue el D, en el cual los hombres aplicaron 4.04 ± 1.02 Nm, mientras que las mujeres tuvieron una fuerza promedio de 2.36 ± 0.70 Nm en el mismo.

Tabla II

Género	Hombres		Mujeres		Total	
	n= 45		n= 28		n= 73	
(N·m)	μ	σ	μ	σ	μ	σ
Mango A	4.75	1.30	2.76	1.03	3.98	1.54
Mango B	4.75	1.24	2.55	0.89	3.90	1.55
Mango C	4.05	1.09	2.40	0.73	3.42	1.25
Mango D	4.04	1.02	2.36	0.70	3.40	1.23
Mango E	4.15	1.10	2.47	0.76	3.51	1.28

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados.

En la tabla III se muestran los resultados del Análisis de Varianza, se puede apreciar que el p-value es de 0.000, el cual es al ser menor que el nivel de significancia de la prueba [0.05] y de acuerdo a la hipótesis planteada, que asumía que la fuerza ejercida con los cinco mangos era igual, se puede decir que existe diferencia significativa entre la fuerza ejercida en cada uno de los mangos, teniendo evidencia para rechazar la hipótesis nula y afirmar que al menos uno de los mangos es diferente. Estos resultados muestran que el diseño de los mangos tiene un efecto significativo sobre la fuerza de torque ejercida durante las pruebas.

Tabla III

Resultados de Análisis de Varianza.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Mangos	4	22.936	5.7341	6.95	0.000
Error	350	288.755	0.8250		
Total	364	709.951			

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados.

Se realizó una prueba de Tukey, para identificar igualdades y diferencias entre las fuerzas

de torque ejercidas con cada uno de los mangos, los resultados de esta prueba se muestran en la Figura 3. Los mangos que tuvieron diferencia significativa entre si, con respecto a la fuerza aplicada fueron el mango A-C, D-A, E-A, C-B y D-B, ya que se puede observar que estos intervalos no incluyen al cero, el cual es indicador de diferencia significativa entre los mismos.

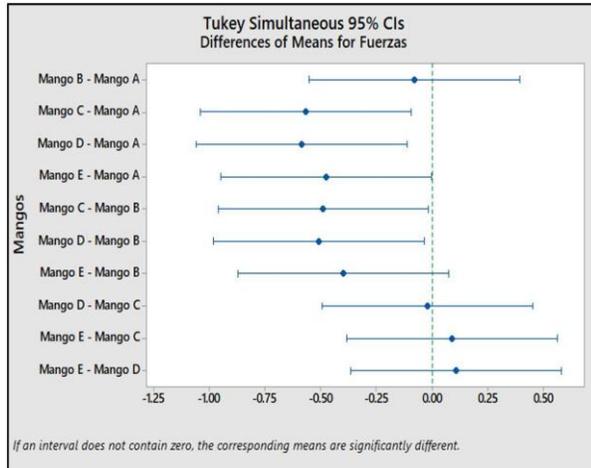


Figura 3. Prueba de Tukey.

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Este proyecto se realizó con el propósito de probar la fuerza de torque ejercida con cinco diferentes mangos para desarmador, además de identificar si la fuerza ejercida con cada uno de ellos era igual o si había existencia de diferencias significativas entre la misma. Se pudo estimar la fuerza de torque ejercida con cada uno de los mangos, en el caso del mango A se ejerció una promedio de 3.98 ± 1.54 Nm, en el mango B se aplicaron 3.90 ± 1.55 Nm, para el mango C se registró una fuerza de torque de 3.42 ± 1.25 Nm, el mango D se obtuvo 3.40 ± 1.23 Nm y el mango E la fuerza ejercida fue de 3.51 ± 1.28 Nm. Con esto se pudo identificar que las características del mango tipo A, son las que favorecen la optimización de la fuerza de torque ejercida por la muestra, mientras que el mango D fue el que menor cantidad de Nm registró.

Con el análisis de Varianza se pudo determinar la existencia de diferencias significativas entre los mangos, y resaltar con esto, la importancia del diseño en los mangos de las herramientas, como aspecto clave para la optimización de la fuerza ejercida por los trabajadores a través de dichas herramientas manuales.

Mejorar el rendimiento en la industria requiere considerar tanto el potencial de lesiones de las tareas como las preocupaciones sobre la productividad [5]. Los cambios tan acelerados de la globalización, jornadas altas de producción y altos estándares de calidad, están creando problemas importantes en los usuarios, exigiendo con esto diseños en este tipo de interfaces que ayuden a evitar cargas excesivas, así como prevenir y reducir el riesgo de sufrir lesiones en los trabajadores.

Los resultados de este trabajo sirven como una guía para el diseño de mangos de herramientas manuales, tomando en cuenta las dimensiones antropométricas de la población a la que va dirigido dicho diseño. Para futuros estudios se recomienda tomar en cuenta otro tipo de dimensiones antropométricas del miembro superior, que se puedan relacionar con la fuerza de torque, así como ampliar la muestra y el rango de edades de los sujetos de estudio, permitiendo analizar el impacto de las variables sociodemográficas sobre la fuerza ejercida.

Referencias

- [1] M. Silva-Gago, A. Fedato, J. Rios-Garaizar y E. Bruner, "A preliminary survey on hand grip and hand-tool morphometrics in three different stone tools", *Journal of Archaeological Science: Reports*, pp. 567-573, 2018.
- [2] H. Veisi, A. Choobineh, H. Ghaem y Z. Shafiee, "The effect of hand tools' handle shape on upper extremity comfort and T postural discomfort among hand-woven

- shoemaking workers", *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 74, p. 102833, 2019
- [3] M. Karakikes y D. Nathanael, "Development and testing of a wearable wrist-to- forearm posture measurement system for hand- tool design evaluation", *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, pp. 1-9, 2020
- [4] S.L. Johnson, "Ergonomic design of handheld tools to prevent trauma to the hand and upper extremity", *Journal of Hand Therapy*, vol. 3, n° 2, pp. 86-93, 1990
- [5] P.G. Dempsey, R.W. McGorry y N.V. O'Brien, kheight, "workpieceorientation, gender, and screwdriver type on productivity and wrist deviation" *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 33, pp. 339-346, 2004
- [6] D. Mugisa, A. Katimbo, J.E. Sempira y W. S. Kisaalita, "Anthropometric characteristics of female smallholder farmers of Uganda e Toward design of labor-saving tools" *Applied Ergonomics*, pp. 177-185, 2016
- [7] S.-c. Yee y M. H. Yun, "An anthropometric survey of Korean hand and hand shape types" *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 53, pp. 10-18, 2016
- [8] A. González, D. Rodríguez, L. García y A. Sánchez, "An Ergonomic Customized-Tool Handle Design for Precision Tools using Additive Manufacturing: A Case Study" *Applied Sciences*, vol. 8, n° 7, p. 1200, 2018
- [9] A. G. González, D. R. Rodríguez y J. García, "Ergonomic analysis of the dimension of a precision tool handle: a case study", *Manufacturing Engineering Society International Conference 2017*, vol. 13, pp. 1336-1343, 2017
- [10] C.Y. Wang y D.C Cai, "Hand tool handle design based on hand measurements", *MATEC Web of Conferences*, vol. 119, p. 01044, 2017
- [11] M. Silva-Gago, A. Fedato, J. Ríos-Garaizar y E. Bruner, "A preliminary survey on hand grip and hand-tool morphometrics in three different stone tools", *Journal of Archaeological Science: Reports*, vol. 23, pp. 567-573, 2019
- [12] M. Motamedzade, A. Choobineh, M. A. Mououdi y S. Arghami, "Ergonomic design of carpet weaving hand tools", *Industrial Ergonomics*, vol. 37, pp. 581-587, 2007
- [13] K. Kogi, T. Kawakami y J. M. Batino, "Low-cost work improvements that can reduce the risk of musculoskeletal disorders" *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 31, n° 3, pp. 179-184, 2003
- [14] Master Supply México, "mastersupply.com.mx" 2019. [En línea]. Available: https://www.mastersupply.com.mx/producto/mountz-torque-analyzer-ez-torq-ii-10i-1-10-lbf-in/?fbclid=IwAR2pRWiAezn9o1yKRSuS28CW3fira9V90s1HB_oWqv-ooErXQ_DF6RmnJus. [Último acceso: 9 10 2019]
- [15] S. Aguilar-Barojas, "Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud" *Salud en Tabasco*, pp. 333-338, 2005
- [16] L. Caldwell, D. Chaffin, F. DukesDobos, K. Kroemer, L. Laubach, S. Snook y D. Wasserman, "A proposed standard procedure for static muscle strength testing", *American Industrial Journal*, pp. 201-206, 1974