



Vendedora de periódicos.

León Ruiz (1933)

Crédito: Biblioteca Pública Piloto de Medellín,
(Colección Patrimonial, archivo fotográfico).

Volumen 42, 2023

DOI: <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.e355982>

Recibido: 20/02/2024

Aprobado: 02/07/2024

Publicado: 13/08/2024

Cita:

Rojas V, Maradei F, Santos A, Rivera C.

Morrales de campaña con calidad ergonómica:

parrilla para reducir riesgos de carga y postura.

Rev. Fac. Nac. Salud Pública. 2024;42:e355982

doi: <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.e355982>

e355982



Check for updates



© Universidad de Antioquia

Esta obra se distribuye bajo una Licencia Creative
Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0
Internacional.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Morrales de campaña con calidad ergonómica: parrilla para reducir riesgos de carga y postura

Vaslak Rojas¹, , Fernanda Maradei², , Antonio Santos Bautista³, , Camilo Rivera Robles⁴

¹ Maestría en diseño y creación Interactiva. Universidad Industrial de Santander. Colombia. vrojas@uis.edu.co

² Doctorado en ingeniería, línea ergonomía. Universidad Industrial de Santander. Colombia. mafermar@uis.edu.co

³ Diseño industrial. Universidad Industrial de Santander. Colombia. anjosan71@gmail.com

⁴ Diseño industrial. Universidad Industrial de Santander. Colombia. camilori18@hotmail.com

Resumen

Objetivo: Validar una nueva propuesta de parrilla estructural para morrales de campaña militar, diseñada para reducir la carga sobre el raquis y mejorar la postura de la flexión de espalda.

Metodología: Se analizaron las propuestas de diseño de parrilla estructural y su comparación con el producto actual y el modelo biomecánico 3D elaborado. En la fase 1 participaron 12 soldados (6 usando el morral actual y 6 usando la propuesta), para obtener los datos de flexión de espalda asumida por los participantes en condiciones reales de uso. Luego, con esta información, se simuló digitalmente las posturas para estimar, con un modelo biomecánico en 3D, la fuerza intradiscal en la L4/L5.

Resultados: El estudio evidencia una reducción promedio de 257 N de la fuerza de compresión sobre el disco intervertebral, que corresponde a un decremento del 27,18 % cuando se usa la parrilla propuesta en comparación con la actual ($p\text{-valor} < 0,001$). Asimismo, el estudio mostró que el comportamiento postural de flexión de espalda es más neutral cuando se usa el nuevo sistema de parrilla ($p\text{-valor} < 0,001$).

Conclusión: Esta nueva propuesta de parrilla reduce la carga sobre los discos intervertebrales, al desviar parte del peso a otros segmentos corporales con mayor capacidad de carga. De esta forma, se consigue una mejor distribución de la carga del morral sobre el cuerpo. Los desórdenes musculoesqueléticos son un problema de salud pública en Colombia. Por tanto, es importante generar conocimiento científico útil para los diseñadores, propendiendo de esta manera por el desarrollo de productos con calidad ergonómica.

-----**Palabras clave:** ergonomía, diseño de producto, morrales de campaña, personal militar, riesgos laborales, seguridad y salud en el trabajo.

Backpacks with ergonomic quality: Grille to reduce load and posture risks

Abstract

Objective: Evaluate the viability of a novel structural grill concept for military training backpacks, intended to reduce the load on the spine and enhance posture during back flexion exercises.

Methods: Phase 1 involved conducting an experimental investigation on six soldiers to collect back flexion data that the participants believed would be used in real-world scenarios. Afterwards, using this data, the postures were digitally simulated to calculate the intradiscal force in the L4/L5 using a 3D biomechanical model.

Results: Using the proposed grid instead of the existing one results in an average 257 newton drop in the compression force on the intervertebral disc, or a 27.18% decrease (p-value <0.001). Similarly, the study demonstrated that using the new grid system results in more neutral postural behavior of back flexion (p-value <0.001).

Conclusion: By shifting some of the weight to other body parts with higher load capacities, this innovative grill idea lessens the strain on the intervertebral discs. This results in a more even distribution of the backpack's weight over the body. In Colombia, musculoskeletal problems are a public health concern. As a result, it's critical to produce knowledge that scientists can utilize to help designers create items that are high-quality and ergonomic.

-----*Keywords:* ergonomics, project design, low back pain, photogrammetry, simulation model

Mochilas com qualidade ergonômica: grelha para reduzir o risco de carga e postura

Resumo

Objetivo: Validar uma nova proposta de grelha estrutural para mochilas militares de campo, projetada para reduzir a carga sobre a coluna vertebral e melhorar a postura de flexão das costas.

Metodologia: Na fase 1, foi realizado um estudo experimental com 12 soldados (6 usando a mochila atual e 6 usando a proposta), para obter os dados de flexão das costas assumidos pelos participantes em condições reais de uso. Em seguida, com essas informações, as posturas foram simuladas digitalmente para estimar, com um modelo biomecânico 3D, a força intradiscal em L4/L5.

Resultados: O estudo mostra uma redução média de 257 N da força de compressão no disco intervertebral, o que corresponde a uma diminuição de 27,18% ao usar a grade proposta em comparação com a atual (p-valor < 0,001). O estudo também mostrou que o comportamento postural de flexão das costas é mais neutro quando se usa o novo sistema de grade (p-valor < 0,001).

Conclusão: Essa nova proposta de grade reduz a carga sobre os discos intervertebrais, desviando parte do peso para outros segmentos do corpo com maior capacidade de carga. Dessa forma, obtém-se uma melhor distribuição da carga da mochila sobre o corpo. Os distúrbios musculoesqueléticos são um problema de saúde pública na Colômbia. Portanto, é importante gerar conhecimento científico útil para os designers, promovendo assim o desenvolvimento de produtos com qualidade ergonômica

-----*Palavras-chave:* ergonomia, design de produto, mochilas de campo, pessoal militar, riscos ocupacionais, saúde e segurança ocupacional.

Introducción

Para garantizar el desarrollo de la actividad militar a cabalidad, el personal en ejercicio requiere diferentes elementos bélicos y dotación personal, como uniformes, raciones alimenticias y material de guerra (munición, granadas y material de mantenimiento, entre otros). Estos son guardados en morrales de campaña que pueden llegar a pesar entre 25 y 35 kg aproximadamente, superando los límites ergonómicos permitidos para el levantamiento de carga, según las recomendaciones internacionales [1-3]. Por tanto, llevar a cabo actividades de entrenamiento militar con un morral que pesa más del límite permitido puede ser un factor que influye en el desarrollo de patologías de la columna vertebral, e inclusive, en la aparición de hernias discales [4-6].

Según un estudio realizado en las fuerzas militares de Ecuador en el 2017, se encontró que las alteraciones con mayor cantidad de diagnósticos son las que afectan a los miembros inferiores y la columna vertebral. Entre ellas se tienen el lumbago no especificado, dorsalgia y lumbago con ciática [7]. Asimismo, en otro estudio desarrollado en el Ejército del Perú, se halló que de los 132 soldados encuestados, el 92,42 % de ellos se ven expuestos a riesgos ergonómicos intolerables o moderados [8]. Otros estudios [9-11] muestran que el dolor lumbar es la lesión más común entre los soldados; además, parece aumentar con el tiempo, debido a la actividad física intensa y a los morrales de combate pesados. Cohen *et al.* [8] muestran que el 75 % de las patologías están asociadas con el dolor lumbar, seguido con el síndrome de dolor cervical. Sidiq *et al.*, en 2021, encuentran una prevalencia del 46,3 % en dolor lumbar [12]. En Colombia, un estudio efectuado en el Hospital Militar Central, de la ciudad de Bogotá, encontró que el dolor lumbar es la causa más frecuente de consulta en el servicio de urgencias [13]. La patología más recurrente es la discopatía lumbar en la L4-L5, donde el 25 % correspondió a soldados. Asimismo, aquellos con más de 20 años de servicio son los que presentan la discopatía con mayor frecuencia (L4-L5 y L5-S1). También, en el mismo estudio, se observó un alto diagnóstico de hernias discales en los mismos discos intervertebrales [13].

El riesgo de dolor de espalda está asociado con la actividad laboral, ampliamente documentado por diferentes autores [5,13-16]. Cuando se refiere a tareas exigentes como son las del entrenamiento militar con un morral en la espalda, la evidencia muestra que hay una necesidad inconsciente de estabilizar la columna lumbar, lo que trae como consecuencia un aumento de la presión intradiscal [17]. El nivel de coactividad de los músculos de la espalda induce a una variación de la carga sobre el raquis, siendo este uno de los factores de riesgo asociados con la patología de dolor lumbar [18,19]. Esta

coactivación también se presenta en el comportamiento postural que se asume durante el desarrollo de cualquier actividad, y aumenta cuando el peso de la carga levantada y transportada es superior al límite permitido [20]. Por tanto, la evidencia muestra que algunos de los factores de riesgo asociados con el dolor lumbar son la manipulación de cargas, la intensidad en el trabajo, movimientos como la flexión lateral, la rotación frecuente de la columna, los esfuerzos repetitivos y la postura principalmente. El personal militar está dentro de una de las ocupaciones con más alto riesgo de presentar lumbagos, siendo una de las principales causas de pérdida de trabajo dentro de la población militar [19].

La evidencia también muestra que en el 80 % de los casos de lumbalgia, la historia previa de dolor lumbar está asociada con un incremento de los síntomas. Marras *et al.*, en 2001, encontró, bajo condiciones iguales, que la carga sobre el raquis aumenta entre el 26 y el 75 % en aquellos con experiencia en dolor lumbar [21]. Es decir, la historia previa es un factor de riesgo del mismo dolor lumbar [22]. Lo anterior sugiere, dado que esta patología es la más común en el área militar por las demandas asociadas a las condiciones de trabajo, y por la alta prevalencia a esta enfermedad entre ellos, que los soldados pueden estar viviendo lo que se conoce como el “ciclo vicioso del dolor”. Esta condición afecta la calidad de vida dentro y fuera del trabajo, ya que influye en la calidad del sueño [23] y aumenta los niveles de depresión [24]. Es, por tanto, primordial poder encontrar soluciones a este problema.

Las especificaciones y normativas sobre la parrilla de carga del Ejército Nacional de Colombia se encuentran condensadas en la respectiva norma técnica NTMD-0198-A3 de la Oficina de Normas Técnicas del Ministerio de Defensa [25]. En ella se establecen los elementos esenciales para su fabricación, como el material de la estructura, las dimensiones, el color y la resistencia, entre otros. En la resistencia, se especifica el procedimiento a seguir y el parámetro de resistencia a una carga de 72 kg distribuida uniformemente. Sin embargo, nunca se menciona tener en cuenta factores biomecánicos de carga que afectan directamente sobre el sistema musculoesquelético y un factor de riesgo clave en el desarrollo de patologías asociadas con la columna vertebral.

Un estudio realizado con los soldados de infantería del batallón San Juan del Corral en Colombia encontró que el personal del ejército excede en kilogramos de masa el peso en el equipo de campaña. Elementos como las cargaderas ocasionaron en el 88 % de los 260 soldados encuestados molestias en hombros y clavícula. Además, el 68 % presentó laceraciones en la zona corporal del plano transversal central, cerca de la cresta ilíaca, generados por el cinturón lumbar al ajustarse [26]. Lo anterior, es acorde al panorama nacional, donde las cifras muestran que la lumbalgia es la tercera causa en

servicios de urgencias, la primera en reubicación laboral y la segunda en pensiones de invalidez [27].

En consecuencia, se validó una nueva propuesta de parrilla estructural para morrales de campaña militar, diseñada para reducir los riesgos asociados al transporte de la carga sobre el raquis y mejorar la postura de la flexión de espalda. Este artículo muestra los resultados experimentales de la validación del sistema de parrilla propuesto en comparación con la parrilla de carga utilizada actualmente por el Ejército.

Metodología

Análisis de las propuestas de diseño de parrilla estructural y su comparación con el producto actual y el modelo biomecánico 3D, desarrollado en la Universidad Industrial de Santander en el marco de un trabajo de grado de la Escuela de Diseño Industrial, en dos fases:

- Fase 1: se aprobó el diseño de parrilla estructural con el fin de efectuar las pruebas en un entorno pertinente y con personal activo de las fuerzas armadas. Las pruebas se llevaron a cabo con 12 soldados (6 usando el morral actual y 6 con el morral propuesto) del batallón ubicado en la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander. Para la prueba se utilizó material de intendencia oficial, manteniendo las características de un entorno relevante en la ejecución de cada una de las pruebas de la validación. Los datos de flexión de espalda fueron obtenidos con el *software* Kinovea, el cual permite el análisis de posturas por medio de la fotogrametría [28].

- Fase 2: a partir de la simulación digital humana, usando un modelo biomecánico 3D proporcionado por el *software* Jack de Siemens®, se realizó el análisis biomecánico [29-32]. Las posturas adoptadas durante la prueba anterior fueron reproducidas en dicho programa, para estimar las cargas aplicadas sobre el disco intervertebral L4-L5.

El diseño del estudio fue unifactorial, conformado por el factor “Uso del sistema de parrilla estructural”, donde se pretendió encontrar si existían diferencias significativas en cuanto a la flexión de la espalda (variable respuesta Y1) y la fuerza intradiscal en L4-L5 (Y2) con la parrilla actual y con la propuesta.

Descripción de la variable independiente

El factor A, denominado “uso del sistema de parrilla estructural”, se estudió bajo dos tratamientos específicos:

1. Parrilla actual (T1) utilizada por el Ejército Nacional de Colombia, diseñada bajo la norma técnica del Ministerio de Defensa NTMD-0198 colombiana de 2011.

Esta parrilla es de aluminio y se utiliza como componente del equipo de morral de campaña. El contenido del morral se sujeta a la parrilla metálica y, por consiguiente, a la anatomía de sus usuarios mediante correas en reata. La parrilla tiene forma rectangular y está conformada por tubos, platinas y perfiles unidos entre sí, por medio de remaches pasantes y puntos de soldadura (véase Figura 1) [33].

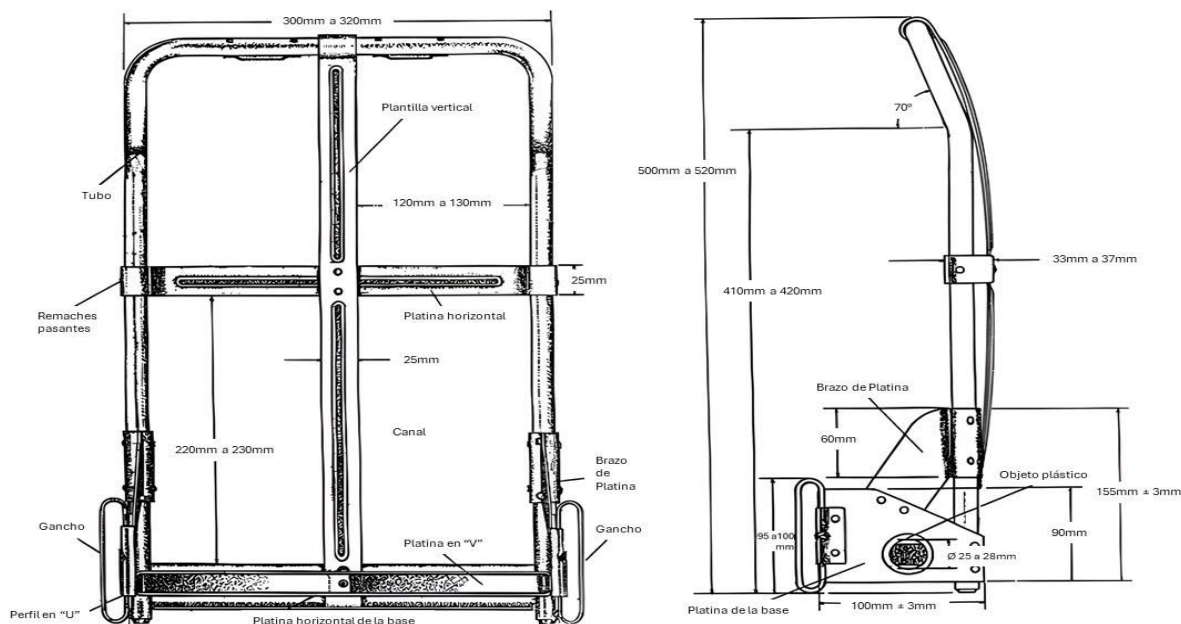


Figura 1. Especificaciones y normativas de la parrilla de carga del Ejército (vista frontal y lateral)

Fuente: [25].

El material de fabricación de la parrilla es aluminio de designación 6063 (T4 a T6). Los perfiles y las platinas son en lámina de aluminio de designación 1100 (H4 a H16) o 3003 (H14 a H16). Los ganchos que agarran la reata de la almohadilla del espaldar están conformados por acero laminado en frío.

2. Nueva propuesta de parrilla estructural (T2) para morrales de campaña (véase Figura 2). La alternativa está constituida por dos secciones: una parte, en contacto con el soldado, contiene los soportes y anclajes a la espalda, y la segunda es la encargada de dar soporte y estabilidad al morral institucional.

Los dos sistemas se encuentran acoplados por medio de bujes, los cuales constituyen el sistema de amortiguación. Los dos acumuladores de energía están diseñados para soportar cargas axiales y transversales (ejes X y Y), lo que permite la disminución y la distribución más adecuada del impacto en la zona lumbar. Asimismo, la propuesta tiene un sistema de agarre a nivel de la cadera y piernas, teniendo como función principal distribuir la carga aplicada en los hombros a otros segmentos corporales, con lo que se reducen las cargas aplicadas directamente sobre el raquis.

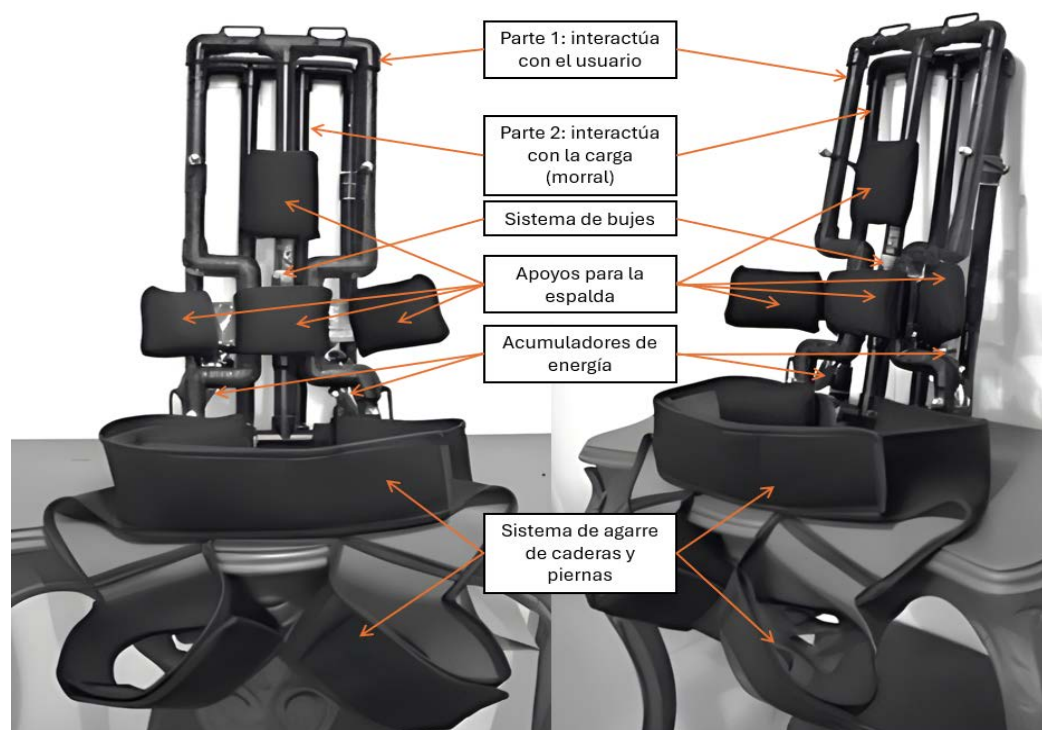


Figura 2. Nueva propuesta de parrilla estructural para morrales de campaña

Descripción de las variables dependientes

La flexión de la espalda (Y1) y la fuerza intradiscal (Y2) fueron medidas a través de fotogrametría, en condiciones reales de uso, mediante el *software* Kinovea [28]. El video registrado de cada participante fue pausado en diferentes momentos de tiempo, para obtener el análisis postural previo. Kinovea permite hacer un seguimiento de la marcha, en el cual se muestra el recorrido descrito por el participante (véase Figura 3). En ella se evidencia una oscilación por movimiento fluctuante del morral, por ende, un pivoteo intrínseco. Por tanto, se tomaron como referencia los picos de las crestas y los valles del

recorrido como puntos de referencia para la división del video y realizar el análisis angular.

Se tomaron tres momentos por cada video (es decir, tres repeticiones de datos), para tener un rango amplio de datos y mayor fiabilidad en los resultados.

Luego del análisis del comportamiento postural en la espalda (Y1), se procedió a trabajar con el *software* Jack de Siemens® [29], que permite simular las fuerzas aplicadas sobre la espalda de los participantes por medio de las posturas que adoptaron durante la prueba (ángulos de los segmentos corporales, incluyendo el de la columna vertebral) y estimar las cargas aplicadas sobre el disco intervertebral L4-L5, en newton (Y2).



Figura 3. Movimiento fluctuante durante la marcha de uno de los participantes. Video tomado en el batallón ubicado en la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander.

Procedimiento

La prueba de validación se realizó de forma presencial en la ciudad de Cúcuta, en el batallón de la ciudad, en el mes de octubre del año 2022. Se seleccionaron los usuarios que accedieron a participar voluntariamente y se les comunicó sobre el lugar y la hora destinada para la ejecución de la prueba.

El procedimiento consistió en realizar dos tareas, una por cada parrilla (T1 y T2). El participante debía efectuar un recorrido de 5 metros indicado por los evaluadores, mientras hacían uso del morral de campaña con el peso que dicta la normatividad de las fuerzas militares.

Cuestiones éticas

El proyecto requirió de la participación de personas para la toma de datos, con instrumentos de medición de manera no invasiva, por lo que se considera una experimentación sin riesgo para los participantes, quienes, a su vez, firmaron un consentimiento informado para la confidencialidad de los datos, de acuerdo con las consideraciones éticas establecidas para estudios con seres humanos.

La investigación siguió los lineamientos de la Declaración de Helsinki [34], el reporte de Belmont [35] y la Resolución 008430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia [36], donde se especificaba el propósito de la prueba, la forma que se desarrollaría, los derechos de declinar su participación en cualquier momento, la privacidad en la toma y el tratamiento de los datos, y demás apartes conforme a lo estipulado en el marco ético legal internacional y colombiano, que garantizan la protección de los derechos, la seguridad y el bienestar de los sujetos, así como los requisitos básicos para desarrollar investigación en humanos.

Análisis estadístico de los datos

El análisis estadístico se hizo a partir de un modelo lineal general univariado, con medidas repetidas, como se presenta en la Ecuación 1.

$$Y = X_1 + \beta_1 + \varepsilon, \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde Y es la variable dependiente de interés, X es el factor aleatorio del participante, β el efecto de las características de codificación en las escenas y ε el error residual.

El modelo se corrió para cada variable dependiente, para identificar las diferencias significativas entre la flexión de la espalda y la carga intradiscal según los tratamientos.

Igualmente, en las variables cuantitativas se efectuaron análisis descriptivos para conocer el comportamiento interno de los datos.

Por último, se realizaron pruebas de contraste de medias con el estadístico T-Student, dado el tamaño muestral reducido. Se consideró un nivel de significancia para un p -valor menor que 0,05, para rechazar la hipótesis nula de igualdad.

Resultados

Los hallazgos que a continuación se presentan se organizan de acuerdo con las variables estudiadas en el estudio experimental.

Flexión de espalda (Y1)

El análisis descriptivo de los datos muestra que la flexión de espalda en el T2 es de 13,2° en comparación con la parrilla actual utilizada por el Ejército, que es de 25,5° (T1). La desviación estándar es menor, así como los coeficientes de variación, que son inferiores a 0,20, lo que demuestra la baja variabilidad de los datos obtenidos (véase Tabla 1).

La evidencia fotográfica también lo demuestra. En la Figura 4 se muestra la comparación entre el uso de ambos tratamientos, donde se evidencia que existe una flexión del tronco más pronunciada cuando se usa la pa-

rrilla actual, en comparación con el resultado del nuevo sistema diseñado.

El estadístico de prueba *t*-student permite establecer que existen diferencias significativas entre la postura de la espalda asumida por los participantes cuando realizan la actividad con el T1 en comparación con T2 (véase Tabla 2). Es decir, la nueva propuesta de parrilla para los morrales de los soldados disminuye significativamente la flexión de la espalda durante su uso. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indica que las muestras son normales; asimismo, la prueba de Levene, con un *p*-valor = 0,424, muestra la homogeneidad de las varianzas (véase Tabla 3).

Tabla 1. Análisis descriptivo de los datos de la flexión de espalda según el tipo de parrilla. T1 es la parrilla actual y T2 la nueva propuesta de diseño.

	Tipo de parrilla	N	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Flexión de espalda	T1	6	26,8	25,5	3,74	23,47	33,8
	T2	6	13,2	13,6	2,42	9,17	15,8



Figura 4. Comparación del comportamiento postural de la espalda en T1 y T2

Tabla 2. Prueba *t*-student de la variable dependiente Y1 (Flexión de espalda)

Prueba T para muestras independientes			
	Estadístico	gl	p
Flexión de espalda	7,47	10,0	< 0,001

gl: grados de libertad ; *p*: valor *p* de significancia.

Tabla 3. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk y de Levene para los datos de flexión de espalda

	Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk)		Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas			
	W	p	F	gl	gl2	p
Flexión espalda	0,937	0,463	0,694	1	10	0,424

F: Estadístico para la prueba de Levene; ; gl: grados de libertad ; p: valor p de significancia; W: Estadístico para la prueba Shapiro-Wilk.

Carga intradiscal (L4-L5)

Después de analizar el comportamiento postural obtenido por los participantes y registrado en video, se llevó a cabo la simulación digital humana en el *software* Jack de Siemens®. En la Figura 5 se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos con el simulador.

La aplicación de las fuerzas sobre el sistema musculoesquelético se configuró de acuerdo con el análisis biomecánico de cargas previo, es decir, para el caso del T2, las fuerzas se distribuyeron en la espalda, así como en dos puntos de la cadera, haciendo referencia al uso de los soportes ubicados en esta zona. Por el contrario, las fuerzas resultadas de la carga del morral fueron ubicadas solo en la zona de la espalda para el modelo de la parrilla actual (T1).

En la Tabla 4 se presenta el comparativo de ambos tratamientos, donde la carga intradiscal en L4-L5 es menor para el caso de T2 en comparación con T1. De la misma forma, la desviación estándar es menor para T2. Los coeficientes de variación son inferiores a 0,20, corroborando la baja variabilidad de los datos. Asimismo, la diferencia en promedio de la carga entre ambos tratamientos es de 257 N, lo que significa una reducción del 27,18 %.

La prueba t-student indica un *p*-valor menor que 0,01, lo que significa que el tipo de parrilla influye en la carga intradiscal en L4/L5 (véase Tabla 5). Asimismo, la Tabla 6, con el *p*-valor = 0,307, indica que las muestras son normales.

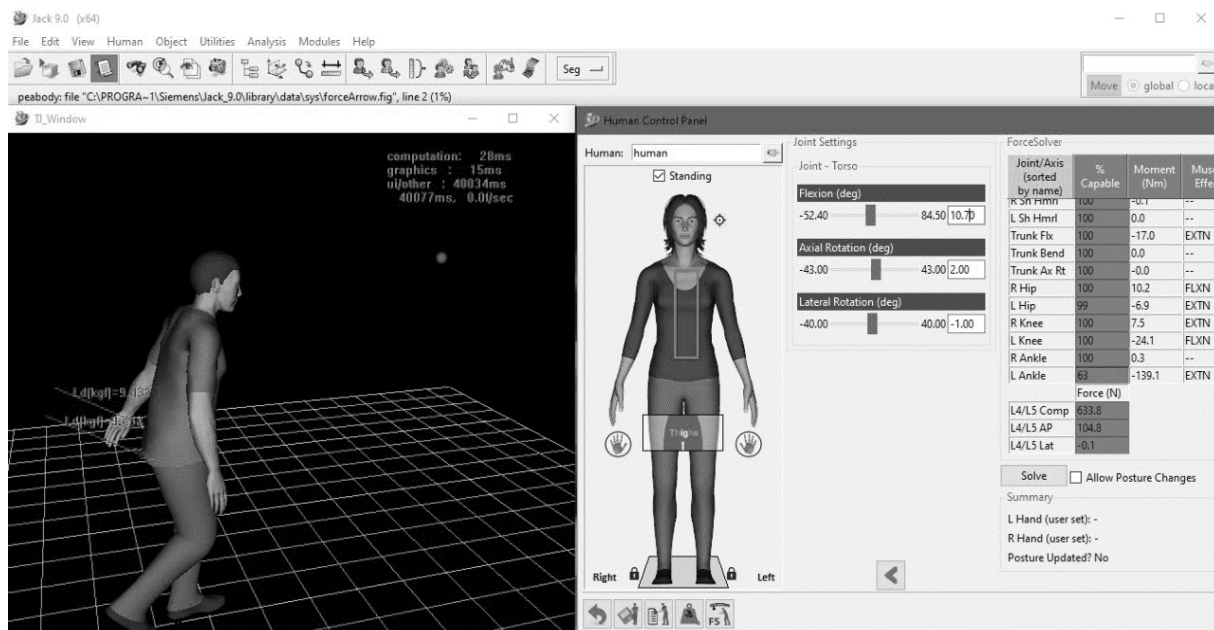

Figura 5. Ejemplo de la simulación digital humana del participante P1 en el tratamiento T2 para la estimación de la carga sobre el disco intervertebral L4/L5

Tabla 4. Análisis descriptivo de los datos de carga intradiscal en L4/L5 según el tipo de parrilla. La carga está en newton

	Tipo de parrilla	n	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Carga intradiscal L4/L5 (N)	T1	6	946	926	66,7	885	1074
	T2	6	689	694	43,4	620	739

Tabla 5. Prueba *t*-student la variable dependiente Y2 (Presión intradiscal L4/L5)

Prueba T para Muestras Independientes			
	Estadístico	gl	p
Carga intradiscal L4/L5	7,62	10,0	< 0,001

gl: grado de libertad ; *p*: valor *p* de significancia.

Tabla 6. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk y de Levene para los datos de carga intradiscal L4/L5

	Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)		Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas			
	W	p	F	gl	gl2	p
Carga intradiscal L4/L5 (N)	0,922	0,305	0,325	1	10	0,581

F: estadístico para la prueba de Levene ; gl: grados de libertad ; *p*: valor *p* de significancia ; W: estadístico para la prueba Shapiro- Wilk.

Discusión

El estudio evidencia estadísticamente que existe una disminución de la carga aplicada sobre la zona lumbar (L4/L5) cuando se utiliza el nuevo sistema de parrilla diseñado por el proyecto (*p*-valor < 0,001). Con este, se consiguió una reducción promedio de 257 N de la fuerza de compresión sobre el disco intervertebral, que corresponde a un decremento del 27,18 %. Ello se logró gracias a que el diseño permitió una mejor distribución de carga sobre el sistema musculoesquelético, lo que evita que todo el peso recaiga solo sobre el raquis.

La columna vertebral y, en especial, la zona lumbar soportan no solo el peso de los segmentos corporales (cabeza, brazos y tronco), sino también el de las cargas levantadas por el cuerpo [20]. Los morrales de campaña pueden pesar alrededor de 25 a 35 kg, por lo que al desviar una parte de esos kilogramos a otros segmentos corporales, se consigue disminuir significativamente la fuerza aplicada de manera directa sobre los discos intervertebrales, como se explica en la literatura a partir de diferentes modelos biomecánicos [31-33].

Lo anterior sugiere que el diseño de nuevos sistemas que tomen en cuenta dichos parámetros ergonómicos puede reducir los riesgos asociados a la manipulación de cargas. En este caso, el diseño propuesto involucra a la cadera y las piernas, lo que disminuye las componentes

vectoriales de comprensión sobre la estructura del disco intervertebral [37]. Asimismo, el estudio mostró que el comportamiento postural de flexión de espalda es más neutral cuando se usa el nuevo sistema de parrilla en comparación con el actual, lo que favorece la reducción de la carga sobre el raquis (*p*-valor < 0,001). La evidencia muestra que las alteraciones en la lordosis lumbar durante un levantamiento de carga generan cambios significativos en las fuerzas musculares y en las cargas internas de la columna vertebral [38], como se evidenció en este trabajo.

Por tanto, así como la carga soportada, la postura también es considerada uno de los factores de riesgo en las tareas que involucran levantamiento de carga [39]. La postura influye en las fuerzas de comprensión intradiscal. Algunas investigaciones sugieren que las flexiones moderadas de espalda son más adecuadas para las tareas asociadas con el riesgo de levantamiento de carga [1,38]. En este estudio, la flexión de espalda se registró en promedio de 13,2°, la cual constituye un rango postural adecuado según dos estudios científicos de referencia [40,41].

Por último, la evidencia sobre las variaciones de presión intradiscal en función de la postura lordótica o cifótica de la columna lumbar está ampliamente documentada, así como su influencia en la distribución de carga sobre los discos intervertebrales [5,13,42]. Sin

embargo, es importante que se introduzca este conocimiento científico en el diseño de productos con calidad ergonómica, para reducir los riesgos asociados en el uso de los mismos, sobre todo en aquellas actividades donde los índices de prevalencia relacionados con el dolor lumbar o las lumbalgias son elevados [6,8], como en este caso de estudio. Se sabe que la intervención ergonómica en el diseño de equipos y sistemas de trabajo favorece las mejores condiciones laborales y reduce los factores de riesgo [43,44]; por tanto, es deber social de la ergonomía contribuir en la aplicación de parámetros ergonómicos en el diseño de nuevos sistemas y productos que beneficien a la población trabajadora.

Por otro lado, el estudio tuvo algunas limitaciones en cuanto al tamaño muestral empleado. Sin embargo, se debe considerar que la toma de datos se realizó con población real y en condiciones reales de uso. Además, los datos obtenidos de la población funcionaron como insumo para estimar, a partir del modelo biomecánico 3D (*software* Jack de Siemens), la fuerza intradiscal en el raquis.

Desde el enfoque en la salud pública, el diseño ergonómico y funcional de los equipos puede influir directamente en la salud y el bienestar de los soldados durante el trabajo prolongado. Al conseguir una mejor distribución del peso del morral, no solo se mejora el rendimiento y la eficiencia de los militares, sino también se reduce el riesgo de lesiones musculoesqueléticas y la fatiga crónica. Dado que las fuerzas armadas desempeñan un papel crucial en diversas actividades relacionadas con la seguridad y el servicio público, el impacto positivo del rediseño de la parrilla podría extenderse a la salud y el rendimiento de los miembros del Ejército en una variedad de escenarios.

Agradecimientos

Los autores manifiestan su gratitud a la Universidad Industrial de Santander y a los participantes en la toma de datos durante la investigación.

Declaración de fuente de financiación

No existen fuentes de financiación a declarar.

Declaración de conflictos de intereses

No existe conflicto de interés por parte de los autores respecto al artículo.

Declaración de responsabilidad

Todos los autores citados a continuación contribuyeron sustancialmente a la concepción y el diseño del artículo, así como al análisis e interpretación de los datos presentados. Así mismo, todos los autores aprueban el contenido del manuscrito y han aprobado el envío del mismo a la Convocatoria tópico especial ergonomía y salud pública: creando entornos de trabajos saludables y seguros.

Declaración de contribución por autores

Todos los autores declaramos que contribuimos en la concepción y diseño del artículo, análisis e interpretación de los datos.

Referencias

1. Waters TR, Putz-Anderson V et al. Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics*. 1993;36(7):749-76. DOI: <https://doi.org/10.1080/00140139308967940>
2. Waters TR, Putz-Anderson V, Garg A. Applications manual for the revised NIOSH lifting equation. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health; 2021. DOI: <https://doi.org/10.26616/NIOSH/PUB94110revised092021>
3. Mudiyansele SE, Nguyen PHD, et al. Automated workers' ergonomic risk assessment in manual material handling using sEMG wearable sensors and machine learning. *Electronics*. 2021;10(20):2558. <https://doi.org/10.3390/electronics10202558>
4. Coenen P, Kingma I, Boot CRL et al. Cumulative low back load at work as a risk factor of low back pain: A prospective cohort study. *J Occup Rehabil*. 2013;23(1):11-18. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10926-012-9375-z>
5. Ngo BPT, Yazdani A, et al. Lifting height as the dominant risk factor for low-back pain and loading during manual materials handling: A scoping review. *IIE Trans. Occup. Ergon. Hum. Factors*. 2017;5(3-4):158-71. DOI: <https://doi.org/10.1080/24725838.2017.1338633>
6. Andersen LL, Fallentin N, Ajslev JZN, et al. Association between occupational lifting and day-to-day change in low-back pain intensity based on company records and text messages. *Scand. J. Work, Environ. & Health*. 2016;43(1):68-74. DOI: <https://doi.org/10.5271/sjweh.3592>
7. Riojas Chavez TR, Salazar Chero RP, Tacza Alonzo GA. Nivel de factores de riesgos ocupacionales en el Batallón de Ingeniería "Pachacútec" N.º 21 del Ejército del Perú, Lima, 2019 [trabajo de grado]. Universidad César Vallejo [internet]; 2019 [citado 2022 abr. 20]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/57473>
8. Cohen SP, Gallagher RM, S. Davis A, et al. Carriagee, spine-area pain in military personnel: A review of epidemiology, etiology

- gy, diagnosis, and treatment. *Spine J.* 2012;12(9):833-42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2011.10.010>
9. Toro Lopez S, Restrepo Lugo CM. Características sociales, demográficas de las hernias discales a nivel lumbar en el Hospital Militar Central [trabajo de grado]. Universidad Militar Nueva Granada [internet]; 2017 [citado 2022 abr. 20]. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/20394>
 10. Corrales Corrales KM. Prevalencia de patologías músculoesqueléticas en los militares de la brigada de fuerzas especiales N.-9 Patria en el período agosto 2015-agosto 2016 [tesis de licenciada]. Universidad Técnica de Ambato [internet]; 2017 [citado 2022 abr. 20]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26130/2/TESIS%20Katerine%20Marcela%20Corrales%2012%20-%20copia.pdf>
 11. Gun BK, Banaag A, et al. Prevalence and risk factors for musculoskeletal back injury among U.S. Army personnel. *Mil. Medicine.* 2021. *Military Medicine.* 2022;187(7-8):e814–e820. DOI: <https://doi.org/10.1093/milmed/usab217>
 12. Sidiq M, Alenazi W, Kashoo F, et al. Prevalence of non-specific chronic low-back pain and risk factors among male soldiers in Saudi Arabia. *PeerJ.* 2021;9:e12249. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.12249>
 13. Marras W. The future of research in understanding and controlling work-related low back disorders. *Ergonomics.* 2005;48(5):464-77. DOI: <https://doi.org/10.1080/00140130400029175>
 14. Van Dieën JH, M. Dekkers JJ, Groen V et al. Within-subject variability in low back load in a repetitively performed, mildly constrained lifting task. *Spine [internet].* 2001 [citado 2022 feb. 15]; 26(16):1799-804. Disponible en: https://journals.lww.com/spine-journal/fulltext/2001/08150/within_subject_variability_in_low_back_load_in_a.16.aspx
 15. Coenen P, Gouttebarger V, Van der Burght ASAM, et al. The effect of lifting during work on low back pain: A health impact assessment based on a meta-analysis. *Occup Environ Med.* 2014;71(12):871-77. DOI: <https://doi.org/10.1136/oemed-2014-102346>
 16. Cholewicki J, McGill SM. Mechanical stability of the *in vivo* lumbar spine: Implications for injury and chronic low back pain. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 1996;11(1):1-15. DOI: [https://doi.org/10.1016/0268-0033\(95\)00035-6](https://doi.org/10.1016/0268-0033(95)00035-6)
 17. Heuch I, Heuch K et al. Physical activity level at work and risk of chronic low back pain: A follow-up in the Nord-Trøndelag Health Study. *PLOS ONE.* 2017;12(4):e0175086. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175086>
 18. Goncharenko IM, Komleva NE, Chekhonatsky AA. Lower back pain at workplace: Prevalence and risk factors. *Russ. Open Med. J.* 2020;9(2):1-6. DOI: <https://doi.org/10.15275/rusomj.2020.0207>
 19. Waqqash E, Hafiz E, et al. A Narrative review: Risk Factors of low back pain in military personnel/recruits. *Int. J. Eng. Technol.* 2018;7(4.15):159-72. DOI: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.15.21439>
 20. Travascio F, Eltoukhy M, Asfour S. Spine biomechanics: A review of current approaches. *Spine Res.* 2015;1(1):1-8. <https://doi.org/10.21767/2471-8173.100004>
 21. Marras WS, Davis KG, Ferguson SA, et al. Spine loading characteristics of patients with low back pain compared with asymptomatic individuals. *Spine [internet].* 2001 [citado 2022 ene. 9]; 26(23):2566-74. Disponible en: https://journals.lww.com/spine-journal/Fulltext/2001/12010/Spine_Loading_Characteristics_of_Patients_With_Low.9.aspx
 22. Almoallim H, Alwafi S, Albazli K, et al. A simple approach of low back pain. *Int. J. Clin. Med.* 2014;05(17):1087-98. DOI: <https://doi.org/10.4236/ijcm.2014.517139>
 23. Mencías Hurtado B, Rodríguez Hernández JL. Trastornos del sueño en el paciente con dolor crónico. *Rev. Soc. Esp. Dolor [internet].* 2012 [citado 2022 feb. 25]; 19(6):332-4. Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S1134-80462012000600008&script=sci_arttext&lng=en
 24. Valenciano Nadal L. El dolor crónico unido a la depresión. *NPunto [internet].* 2021 [citado 2022 abr. 13]; 4(41):59-79. Disponible en: <https://www.npunto.es/content/src/pdf-articulo/6114ec5344bflart3.pdf>
 25. Colombia, Ministerio de Defensa. Norma técnica parrilla metálica para morral de campaña NTMD-0198-A3. Oficina de Normas Técnicas del Ministerio de Defensa [internet]; 2011 [citado 2022 abr. 13]. Disponible en: https://www.colombiacompra.gov.co/sites/default/files/archivos_amp/amp_intendencia/especificaciones/NTMD-0198-A3.pdf
 26. Sánchez Llano C. Análisis de usabilidad del morral de campaña de los soldados de infantería Batallón San Juan del Corral Colombia [trabajo de grado]. Universidad Pontificia Bolivariana [internet]. 2016 [citado 2023 dic. 4]. Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/3318>
 27. Guerrero Liñero AM, Gómez López MP. VIII Estudio Nacional de Dolor. Prevalencia del dolor crónico en Colombia. Asociación Colombia para el Estudio del Dolor [internet]; 2014 [citado 2022 feb. 21]. Disponible en: https://www.consultorsalud.com/wp-content/uploads/2014/11/viii_estudio_prevalencia_dolor_cronico_en_colombia_publicacion_pagina_aced_2014.pdf
 28. Beltrán Albarracín DA. Validación de kinovea como herramienta para el análisis de posturas en tareas sedentarias: validación de kinovea con fotogrametría [trabajo de grado]. [Quito:] Escuela Politécnica Nacional [internet]. 2022 [citado 2024 ene. 4]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23229>
 29. Blanchonette P. Jack human modelling tool: A review. Australian Government. Department of Defence [internet]. 2010 [citado 2024 ene. 4]. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Jack-Human-Modelling-Tool%3A-A-Review-Blanchonette/01aa996a5f0545403959ddb3025d4f1e8990126f>
 30. Herman P. Statics of the Body. En: Herman P, Physics of the human body, Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering. Cham: Springer International Publishing; 2016. pp. 39-94. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-23932-3_2
 31. Bruno G, Burkhart K, Allaire B, et al. Spinal Loading patterns from biomechanical modeling explain the high incidence of vertebral fractures in the thoracolumbar region. *J Bone Miner Res.* 2017;32(6):1282-90. DOI: <https://doi.org/10.1002/jbmr.3113>
 32. Iyer S, Christiansen BA, Roberts BJ, et al. A biomechanical model for estimating loads on thoracic and lumbar vertebrae. *Clin Biomech.* 2010;25(9):853-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2010.06.010>
 33. Antwi-Afari MF, Li H, Edwards DJ, et al. Biomechanical analysis of risk factors for work-related musculoskeletal disorders during repetitive lifting task in construction workers. *Autom. Constr.* 2017;83:41-47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.07.007>
 34. Asociación Médica Mundial (ANM). Declaración de Helsinki de la AMM - Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos [internet]; 2024 may. 23 [citado 2023 nov. 10]. Disponible en: <https://www.wma.net/es/politicas-post/declaracion-de-helsinki-de-la-amm-principios-eticos-para-las-investigaciones-medicas-en-seres-humanos/>
 35. Stanton, J. The Belmont Report: Ethical principles and guidelines for the protection of human subjects of research (No. DHEW Publication No.(OS) 78-0012). Washington; 1978.

36. Colombia, Ministerio de Salud. Resolución 8430, por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud (1993 oct. 4).
37. Conforti I, Miletì Z, et al. Measuring biomechanical risk in lifting load tasks through wearable system and machine-learning approach. *Sensors*. 2020;20(6):1557. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20061557>
38. Arjmand N, Shirazi-Adl A. Biomechanics of changes in lumbar posture in static lifting. *Spine*. 2005;30(23):2637-48. DOI: <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000187907.02910.4f>
39. Punnett L, Wegman DH. Work-related musculoskeletal disorders: The epidemiologic evidence and the debate. *J Electromyogr Kinesiol*. 2004;14(1):13-23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2003.09.015>
40. McAtamney L, Nigel Corlett E. RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Appl Ergon*. 1993;24(2):91-99. DOI: [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(93\)90080-s](https://doi.org/10.1016/0003-6870(93)90080-s)
41. Karhu O, Kansii P, Kuorinka I. Correcting working postures in industry: A practical method for analysis *Applied Ergonomics*. 1977;8(4):199-201. DOI: [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(77\)90164-8](https://doi.org/10.1016/0003-6870(77)90164-8)
42. Hans-Joachim W, Neef, P, Caimi, M, et al. *New in vivo* measurements of pressures in the intervertebral disc in daily life. *Spine* [internet]. 1999 [citado 2024 ene. 5]; 24(8):755-62. Disponible en: https://journals.lww.com/spinejournal/abstract/1999/04150/new_in_vivo_measurements_of_pressures_in_the.5.aspx
43. Abarqhouei NS, Nasab HH. Total ergonomics and its impact in musculoskeletal disorders and quality of work life and productivity. *Open J. Saf. Sci. Technol*. 2011;1(3):79-88. DOI: <https://doi.org/10.4236/ojsst.2011.13008>
44. Afroz S, Haque, MI. Ergonomics in the workplace for a better quality of work life. en: Muzammil M, Khan AA, Hasan F, editors. *Ergonomics for improved productivity. Design science and innovation*. Singapore: Springer; 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-9054-2_57