



CIENCIAS DE LA SALUD

Ciencia Vital, Vol. 4, No. 2, abril-junio 2026

<https://doi.org/10.20983/cienciavital.2026.02.sal.02>

e0402SAL02

CIENCIA VITAL

Revista de Divulgación Científica de la UAQJ
2020, 2021-2026

La ergonomía del pedal

interruptor y el costo oculto de la fatiga laboral

Ing. Jessica Guerrero Macias¹



¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

<https://orcid.org/0009-0005-4830-8076>.

jessica.grmacias@gmail.com



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES

RESUMEN

Aunque suele pasar desapercibido, el pedal interruptor desempeña un papel importante en la salud y el desempeño de las personas que trabajan durante largos periodos de pie, como personal médico, técnico e industrial. Un diseño inadecuado, una ubicación incorrecta o la necesidad de aplicar demasiada fuerza pueden provocar fatiga, molestias musculares y aumentar el riesgo de errores durante las tareas. Este artículo explica cómo principios de ergonomía, la disciplina que adapta herramientas y espacios a las capacidades humanas, pueden aplicarse al diseño de estos dispositivos para mejorar la comodidad y la seguridad. También se describe el uso de la electromiografía de superficie, una técnica que mide la actividad eléctrica de los músculos mediante sensores colocados sobre la piel, para evaluar objetivamente el esfuerzo físico asociado al uso de distintos pedales. Comprender la relación entre diseño, fatiga y rendimiento permite identificar oportunidades para crear entornos de trabajo más seguros, eficientes y saludables, con beneficios tanto para las personas trabajadoras como para las organizaciones.

Introducción

¿Sabías que los trastornos musculoesqueléticos (TME, lesiones o molestias que afectan músculos, articulaciones, tendones y ligamentos) se relacionan con el tiempo prolongado en posturas estáticas, en especial cuando la persona trabaja de pie durante gran parte de su jornada sin oportunidad de cambiar su posición? La fatiga que aparece tras horas de trabajo de pie, frente a una máquina o en un quirófano, no es una simple molestia normal de la jornada laboral. Esto es, en gran medida, el resultado de decisiones de diseño: desde cómo se organiza el puesto de trabajo, dónde se colocan los controles, qué ángulo adopta el cuerpo para realizar la operación y, en particular, cómo se configuran dispositivos tan discretos (y decisivos) como el pedal interruptor. La evidencia en ergonomía muestra que las posturas estáticas, el trabajo prolongado de pie, el uso repetido de controles mal ubicados y la ausencia de ajustes basados en la antropometría (disciplina que estudia las dimensiones y proporciones del cuerpo humano) incrementan el riesgo de dolor lumbar, sobrecarga en cuello y extremidades inferiores, y TME que se acumulan a largo plazo [1]–[4].

En hospitales, laboratorios y líneas de producción, el pedal interruptor se ha establecido como una solución eficiente para operar dispositivos con el pie y mantener las manos libres para tareas de precisión, manipulación o procesos repetitivos. No obstante, cuando su diseño no toma en cuenta los principios ergonómicos básicos, este mismo dispositivo puede contribuir a la fatiga, los errores y el deterioro silencioso del bienestar del personal.

El costo oculto de la fatiga asociada al uso prolongado del pedal no solo se refleja en incomodidad, sino también en productividad reducida, ausentismo, presentismo (personas que asisten al trabajo, pero con un rendimiento reducido) y riesgo operativo.

El pedal interruptor como interfaz crítica de control

El pedal interruptor es un dispositivo de mando accionado con el pie que abre o cierra uno o varios contactos eléctricos para controlar equipos industriales o médicos, con configuraciones normalmente abiertas (NA) o normalmente cerradas (NC), definidas por normas como la IEC 60947-5-1 (norma internacional para dispositivos eléctricos de control) [5]. Esta lógica permite adaptar el pedal a funciones de encendido, activación momentánea, modo seguro o parada de emergencia, según el proceso y el nivel de riesgo implicado.

En la práctica, los pedales se utilizan en mesas quirúrgicas, sistemas de electrocirugía, equipos de imagen médica, máquinas de cosido industrial, prensas, sistemas de corte, equipos de envasado y estaciones automatizadas de producción [6]–[9]. Su ventaja central es clara, ya que permiten que las manos se concentren en la tarea principal mientras el pie realiza funciones críticas. Sin embargo, esta ventaja solo se materializa plenamente cuando el pedal está bien di-



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES

señado, correctamente ubicado y adaptado al contexto de uso. Cuando no es así, se convierte en una fuente silenciosa de fatiga física y errores de activación; por ejemplo, cuando se debe “buscar” el pedal a ciegas, cuando exige demasiada fuerza, cuando obliga a extender o flexionar el tobillo de forma extrema o cuando requiere sostener una sola pierna activa durante horas [8], [9].

Fuerza, recorrido e inclinación: pequeños valores, grandes efectos

Los parámetros mecánicos del pedal —fuerza de accionamiento, recorrido y ángulo de inclinación— condicionan directamente la carga sobre el tobillo, el pie y la cadena musculoesquelética inferior. Estudios sobre pedales quirúrgicos y de control han demostrado que fuerzas de activación excesivas, recorridos largos o pendientes pronunciadas incrementan el esfuerzo, el tiempo de respuesta y la probabilidad de movimientos inestables [8], [9], [10]. Por el contrario, una fuerza moderada, un recorrido corto pero claramente perceptible y una inclinación suave permiten una activación segura sin exigir contracciones intensas y repetitivas.

La literatura recomienda trabajar con rangos que permitan mantener el tobillo próximo a una posición neutra, evitando flexiones dorsales o plantares extremas sostenidas, especialmente en tareas prolongadas [8], [9], [11]. Cuando el pedal se diseña sin estos criterios, la persona operadora compensa con posturas asimétricas, apoyo excesivo en una pierna, tensión en la pantorrilla y ajustes constantes del centro de gravedad que, a lo largo del turno, se traducen en mayor fatiga.

Antropometría y postura: alinear el pedal con el cuerpo real

La ergonomía aplicada recuerda una regla básica: los controles deben diseñarse a partir de las dimensiones reales y de la variabilidad de las personas usuarias, no al revés. Referencias como *Bodyspace* de Stephen Pheasant y los manuales clásicos de factores humanos insisten en que la ubicación de controles de pie debe considerar la longitud del pie, la amplitud de paso, la postura neutra, el calzado y el espacio disponible para movimientos seguros [13]–[15].

Como se detalla en el ejemplo de la Figura 1, en términos prácticos, esto implica colocar el pedal dentro del rango cómodo de alcance del pie, evitando que la persona usuaria deba inclinar el tronco o rotar la cadera de forma constante. También es importante ajustar la altura y la inclinación del pedal para que el pie pueda descansar sobre su superficie sin forzar el tobillo y con apoyo estable y antideslizante. La superficie debe tener dimensiones suficientes para identificarla fácilmente con el calzado y evitar activaciones involuntarias. Asimismo, es necesario considerar las variaciones de estatura, talla de calzado y tipo de tarea, especialmente en entornos con múltiples usuarios.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



Figura 1. Principios ergonómicos para la ubicación y el diseño de un pedal médico de control.

Estudios específicos sobre pedales médicos y de interacción con el pie muestran que las variaciones en la pendiente, en la dirección del movimiento y en el punto de contacto modifican significativamente la precisión y el confort, reforzando la importancia de diseñar con criterios medibles y no mediante ensayo informal [8], [9], [11].

sEMG como herramienta objetiva para evaluar la demanda muscular

Para pasar del “se siente pesado” a la evidencia cuantificable, la electromiografía de superficie (sEMG, técnica que registra la actividad eléctrica de los músculos mediante sensores colocados sobre la piel) se ha convertido en una herramienta clave en ergonomía y biomecánica (Figura 2). Mediante electrodos colocados sobre la piel, la sEMG registra la actividad eléctrica de los músculos durante el uso de un dispositivo, permitiendo analizar qué grupos musculares trabajan más, con qué intensidad y durante cuánto tiempo [19]–[21].

Aplicada al estudio de pedales interruptores, la sEMG permite comparar diferentes diseños en términos de fuerza, inclinación y posición para determinar cuál genera una menor activación muscular sostenida. También ayuda a identificar sobrecargas en músculos de la pierna o la región lumbar asociadas con posiciones forzadas y a validar ajustes realizados en el entorno de trabajo, como la reubicación del pedal, modificaciones en la inclinación o la incorporación de plataformas, mediante datos objetivos.

Recomendaciones como las del grupo SENIAM (Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles, proyecto internacional que desarrolló estándares para el uso de electromiografía de superficie) han estandarizado procedimientos de colocación de electrodos y análisis de señal, lo que aporta confiabilidad a los estudios que relacionan el diseño de controles accionados con el pie y la demanda muscular [22]. De esta manera, el rediseño del pedal deja de basarse únicamente en la percepción subjetiva y se apoya en mediciones reproducibles.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



Figura 2. Evaluación de la demanda muscular mediante electromiografía de superficie durante el uso de un pedal médico.

Normas y lineamientos: del criterio técnico a la obligación ética

Las normas no sustituyen al diseño, pero establecen el nivel mínimo aceptable de seguridad y funcionalidad. La ISO 6385 establece principios generales para el diseño de sistemas de trabajo centrados en la persona, insistiendo en adaptar tareas y medios a las capacidades físicas y cognitivas de quienes trabajan [11]. Por su parte, la NOM-036-1-STPS-2018 en México reconoce formalmente los factores de riesgo ergonómico asociados a los TME, recordando que el daño musculoesquelético es prevenible cuando se controla la carga física y se diseñan puestos de trabajo seguros [12].

En conjunto con normas específicas para equipos eléctricos y sistemas de control, estos documentos refuerzan la obligación técnica y legal de no tratar la fatiga como un simple “costo colateral”, sino como un indicador de diseño deficiente. Considerar la ergonomía del pedal interruptor es coherente con este marco, ya que forma parte de la responsabilidad de asegurar que la interfaz de control no exponga a las personas a riesgos innecesarios.

El costo oculto de la fatiga: más allá del cansancio al final del turno

Los TME relacionados con malas posturas, trabajo prolongado de pie y uso de controles mal diseñados tienen efectos directos sobre la vida diaria: dolor persistente, dificultad para caminar o subir escaleras, alteraciones del sueño, necesidad de medicación y limitaciones en actividades fuera del trabajo. Este deterioro funcional no solo afecta a la persona, sino que también reduce la disponibilidad física y mental para enfrentar nuevas demandas laborales.

Diversos estudios han documentado la relación entre los TME y la productividad, observando mayores niveles de ausentismo, presentismo, errores, tiempos más prolongados de ejecución



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES

y una disminución de la calidad en procesos críticos, como la atención médica o la operación de maquinaria industrial [23]–[26]. El llamado “costo oculto” incluye la sustitución de personal, la rotación laboral y la capacitación de nuevos operarios. También contempla la disminución de la precisión en tareas donde el pedal controla funciones críticas, como el corte, el sellado, la activación de energía o el manejo de dispositivos médicos. Además, existen riesgos asociados a incidentes o casi accidentes derivados de activaciones tardías, imprecisas o involuntarias.

Desde esta perspectiva, invertir en el diseño y la evaluación ergonómica de un pedal interruptor deja de ser un detalle técnico accesorio para convertirse en una estrategia de gestión de riesgos y sostenibilidad organizacional.

Aplicación de principios ergonómicos al diseño del pedal interruptor

Integrar los hallazgos de la ergonomía clásica, la antropometría, la sEMG y las normas vigentes permite establecer criterios claros para el diseño y la selección de pedales interruptores.

La función de control debe ser segura y clara, utilizando configuraciones NA o NC adecuadas, así como fuerzas y recorridos suficientes para evitar activaciones accidentales sin comprometer la comodidad de la persona usuaria [5]. Asimismo, el pedal debe colocarse de manera que permita mantener el tobillo en una posición natural, evitando rotaciones forzadas del tronco o apoyos unilaterales prolongados [8], [9], [11].

Los parámetros de diseño deben ser medibles y verificables. Esto implica definir con precisión la fuerza requerida para el accionamiento, el ángulo de trabajo y la inclinación, así como evaluar experimentalmente estos factores mediante sEMG y observaciones de campo que permitan confirmar una reducción de la carga muscular [19]–[22].

También es necesario considerar la diversidad antropométrica de la población usuaria, el tipo de calzado, el contexto de uso —como quirófanos, laboratorios o líneas de producción— y la duración real de las tareas [13]–[15]. Finalmente, el desempeño del pedal debe revisarse de manera continua ante cambios en los procesos, incrementos en los tiempos de uso o reportes de molestias, siguiendo principios de mejora continua y prevención de TME [11], [12].

Conclusión

Un pedal interruptor diseñado con criterios ergonómicos no solo resulta más cómodo para quien lo utiliza; también contribuye a proteger la salud musculoesquelética, mejorar la precisión de la operación y reducir, de manera casi imperceptible, los periodos de baja productividad, atención y calidad. En trabajos de larga duración, donde cada decisión de diseño se acumula en el cuerpo de las personas, ignorar este dispositivo significa desaprovechar una oportunidad importante para disminuir el costo oculto de la fatiga laboral.

Referencias

- [1] K. H. E. Kroemer and E. Grandjean, *Fitting the Task to the Human: A Textbook of Occupational Ergonomics*, 5th ed. London, UK: CRC Press, 1997. doi: <https://doi.org/10.1201/9780367807337>
- [2] J. Dul and B. Weerdmeester, *Ergonomics for Beginners: A Quick Reference Guide*, 3rd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2008. doi: <https://doi.org/10.1201/9781420077520>
- [3] S. Pheasant and C. M. Haslegrave, *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work*, 3rd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2006. doi: <https://doi.org/10.1201/9781315375212>



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES

- [4] R. Bridger, *Introduction to Ergonomics*, 3rd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2008. doi: <https://doi.org/10.1201/9781439894927>
- [5] G. Salvendy, Ed., *Handbook of Human Factors and Ergonomics*, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2012. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com>
- [6] H. Jo, O.-B. Lim, Y.-S. Ahn, S.-J. Chang and S.-B. Koh, “Negative impacts of prolonged standing at work on musculoskeletal symptoms and physical fatigue: The Fifth Korean Working Conditions Survey,” *Yonsei Medical Journal*, vol. 62, no. 6, pp. 510–518, 2021. doi: <https://doi.org/10.3349/ymj.2021.62.6.510>
- [7] B. Hatscher, M. Luz and C. Hansen, “Foot interaction concepts to support radiological interventions,” *i-com*, vol. 17, no. 1, pp. 3–13, 2018. doi: <https://doi.org/10.1515/icom-2018-0002>
- [8] N. Handigol and M. Ketkar, “Ergonomic Foot Switch Design for Electric Biomedical Devices (Bipolar Cautery, Medical Electric Drills and Saw),” *International Journal of Scientific Research*, vol. 12, no. 7, 2023. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/372490301_Ergonomic_Foot_Switch_Design_for_Electric_Biomedical_Devices_Bipolar_Cautery_Medical_Electric_Drills_and_Saw
- [9] S.-W. Kim and S.-K. Hong, “Effects of footpad slope, movement direction and contact part of foot on foot-based interactions,” *Applied Sciences*, vol. 13, no. 11, Art. no. 6636, 2023. doi: <https://doi.org/10.3390/app13116636>
- [10] M. A. van Veelen, C. J. Snijders, E. van Leeuwen, R. H. M. Goossens and G. Kazemier, “Improvement of foot pedals used during surgery based on new ergonomic guidelines,” *Surgical Endoscopy*, vol. 17, no. 7, pp. 1086–1091, 2003. doi: <https://doi.org/10.1007/s00464-002-9185-z>
- [11] *ISO 6385:2016 Ergonomic Principles in the Design of Work Systems*. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2016. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/63785.html>
- [12] Secretaría del Trabajo y Previsión Social, *NOM-036-I-STPS-2018. Factores de riesgo ergonómico en el trabajo. Parte 1: Manejo manual de cargas*. México, 2018. Disponible en: <https://www.dof.gob.mx>
- [13] F. Nachreiner, “Standards for ergonomics principles relating to the design of work systems and to mental workload,” *Applied Ergonomics*, vol. 26, no. 4, pp. 259–263, 1995. doi: [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(95\)00029-C](https://doi.org/10.1016/0003-6870(95)00029-C)
- [14] H. J. Hermens, B. Freriks, C. Disselhorst-Klug and G. Rau, “Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures,” *Journal of Electromyography and Kinesiology*, vol. 10, no. 5, pp. 361–374, 2000. doi: [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(00\)00027-4](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(00)00027-4)
- [15] European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA), *Work-related Musculoskeletal Disorders: Prevalence, Costs and Demographics in the EU*, 2019. Disponible en: <https://osha.europa.eu/en/publications/msds-facts-and-figures-overview-prevalence-costs-and-demographics-msds-europe>
- [16] World Health Organization (WHO), *Musculoskeletal Health*. Fact Sheet, 2022. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions>
- [17] R. Escorpizo, “Understanding work productivity and its application to work-related musculoskeletal disorders,” *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 38, nos. 3–4, pp. 291–297, 2008. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2007.08.006>
- [18] M. E. Queiroz-Lima and F. Serranheira, “Absenteeism and presenteeism costs from occupational accidents with WRMSDs in a Portuguese hospital,” *DYNA*, vol. 83, no. 196, pp. 43–50, 2016. doi: <https://doi.org/10.15446/dyna.v83n196.56605>
- [19] M. Kang, “Relationship Between Musculoskeletal Disorders and Productivity Loss Among Hospital Nurses: An Analytical Cross-Sectional Study With Secondary Data Analysis,” *Journal of Nursing Scholarship*, 2025. doi: <https://doi.org/10.1111/jnu.70020>
- [20] C. Gregg *et al.*, “Work-Related Musculoskeletal Disorders: A Systematic Review,” *Journal*



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES

of *Clinical Medicine*, vol. 13, no. 13, Art. no. 3964, 2024. doi: <https://doi.org/10.3390/jcm13133964>

- [21] E. Barnard *et al.*, “Ergonomics and work-related musculoskeletal disorders in interventional physicians: a review,” *Current Problems in Diagnostic Radiology*, 2021. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8544652/>
- [22] B. Demissie *et al.*, “A systematic review of work-related musculoskeletal disorders and risk factors among computer users,” *Heliyon*, vol. 10, no. 3, Art. no. e25075, 2024. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25075>
- [23] European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA), *OSH in Figures: Work-related Musculoskeletal Disorders in the EU — Facts and Figures*, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010. Disponible en: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/5819be4f-0393-11eb-a511-01aa75ed71a1/language-en>
- [24] N. S. Abarqhouei and H. H. Nasab, “Total ergonomics and its impact in musculoskeletal disorders and quality of work life and productivity,” *Open Journal of Safety Science and Technology*, vol. 1, no. 3, pp. 79–88, 2011. doi: <https://doi.org/10.4236/ojsst.2011.13008>
- [25] H. Jo *et al.*, “Negative Impacts of Prolonged Standing at Work on Musculoskeletal Symptoms and Physical Fatigue: The Fifth Korean Working Conditions Survey,” versión de acceso abierto. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8149936/>
- [26] U.S. Occupational Safety and Health Administration (OSHA), *Ergonomics*. Disponible en: <https://www.osha.gov/ergonomics>



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES