



Evaluación del impacto del uso de un exoesqueleto de miembro superior en condiciones reales. El caso de Ford

Sofía Iranzo Egea¹, Úrsula Martínez Iranzo¹,
Daniel Iordanov López¹, Alicia Piedrabuena
Cuesta¹, Juan Manuel Belda Lois^{1,2}, Mercedes
Sanchis Almenara¹, Raquel Ruiz Folgado¹,
Israel Benavides Sosa³

¹ Instituto de Biomecánica (IBV). Universitat
Politécnica de València. Edificio 9C. Camino
de Vera s/n. (46022) Valencia. España

² Grupo de Tecnología Sanitaria del IBV,
CIBER de Bioingeniería, Biomateriales y
Nanomedicina (CIBER-BBN)

³ Ford Motor Company

Los trastornos musculoesqueléticos de miembro superior (TMEs) en puestos de trabajo relacionados con la fabricación, representan más del 30% de las lesiones que requieren días de baja. Por este motivo, se está invirtiendo mucho esfuerzo en investigar técnicas de mejora de las condiciones de los trabajadores, con el objetivo de reducir los riesgos de lesión. En los últimos años, los exoesqueletos se están introduciendo en la industria como una posible ayuda en esta línea. Por ello, es importante conocer el impacto que tienen sobre los esfuerzos realizados y las posturas adoptadas por las personas trabajadoras.



INTRODUCCIÓN

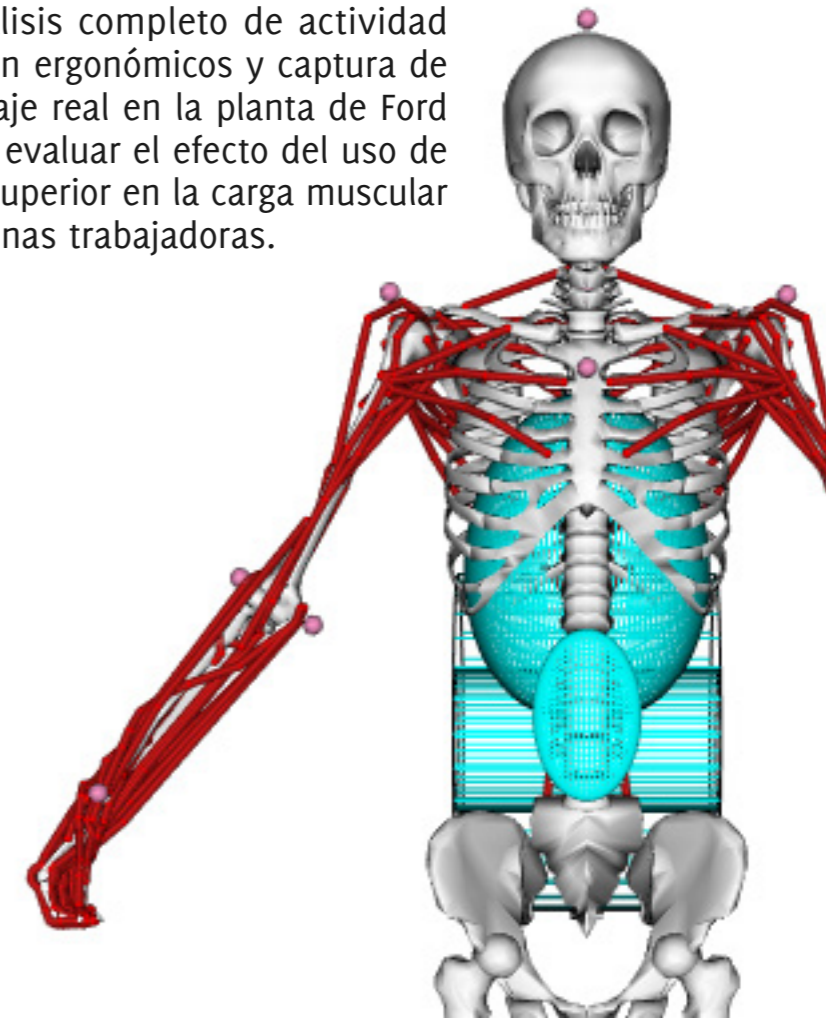
La industria ha experimentado una importante automatización de procesos con la implantación de las nuevas tecnologías. No obstante, siguen existiendo puestos de trabajo que implican tareas repetitivas y/o manipulación de cargas, en ocasiones con actividades que se realizan en alturas superiores al hombro del trabajador. El tipo de esfuerzos realizados en estos puestos de trabajo, incluso en aquellos casos en los que el riesgo ergonómico es tolerable, puede acarrear discomfort y dolor en cuello y hombros, pudiendo ser agravados cuando existe manipulación de pesos^[1-3]. En los últimos años, los exoesqueletos pasivos se están introduciendo como elemento de ayuda para los operarios, con el objetivo de contribuir a la reducción del discomfort y de las lesiones musculoesqueléticas.

Existe un amplio abanico de modelos comerciales dedicados a diferentes articulaciones: modelos de carga lumbar, de soporte para miembro inferior (*chairless chair*), y dispositivos de miembro superior, que descargan tensión en hombros y brazos.

No obstante, hasta el momento no se ha descrito fehacientemente el impacto de estos sistemas en los puestos de trabajo, por lo que es de gran relevancia realizar evaluaciones para valorar tanto los beneficios, como los posibles efectos adversos que producen estos dispositivos en las personas que los utilizan.

Si bien es cierto que en los últimos tiempos se han publicado estudios en los que se evalúan modelos comerciales, éstos han sido realizados mediante simulaciones de puestos de trabajo en laboratorio en los que los participantes simulan ciclos de trabajo, mientras se les monitorizan parámetros tales como la actividad muscular o los rangos de movimiento^[4-6].

En el estudio que se presenta, el Instituto de Biomecánica (IBV) ha desarrollado un análisis completo de actividad muscular, rangos de aceptación ergonómicos y captura de movimiento en línea de montaje real en la planta de Ford de Valencia con el objetivo de evaluar el efecto del uso de un exoesqueleto de miembro superior en la carga muscular y en las posturas de las personas trabajadoras.





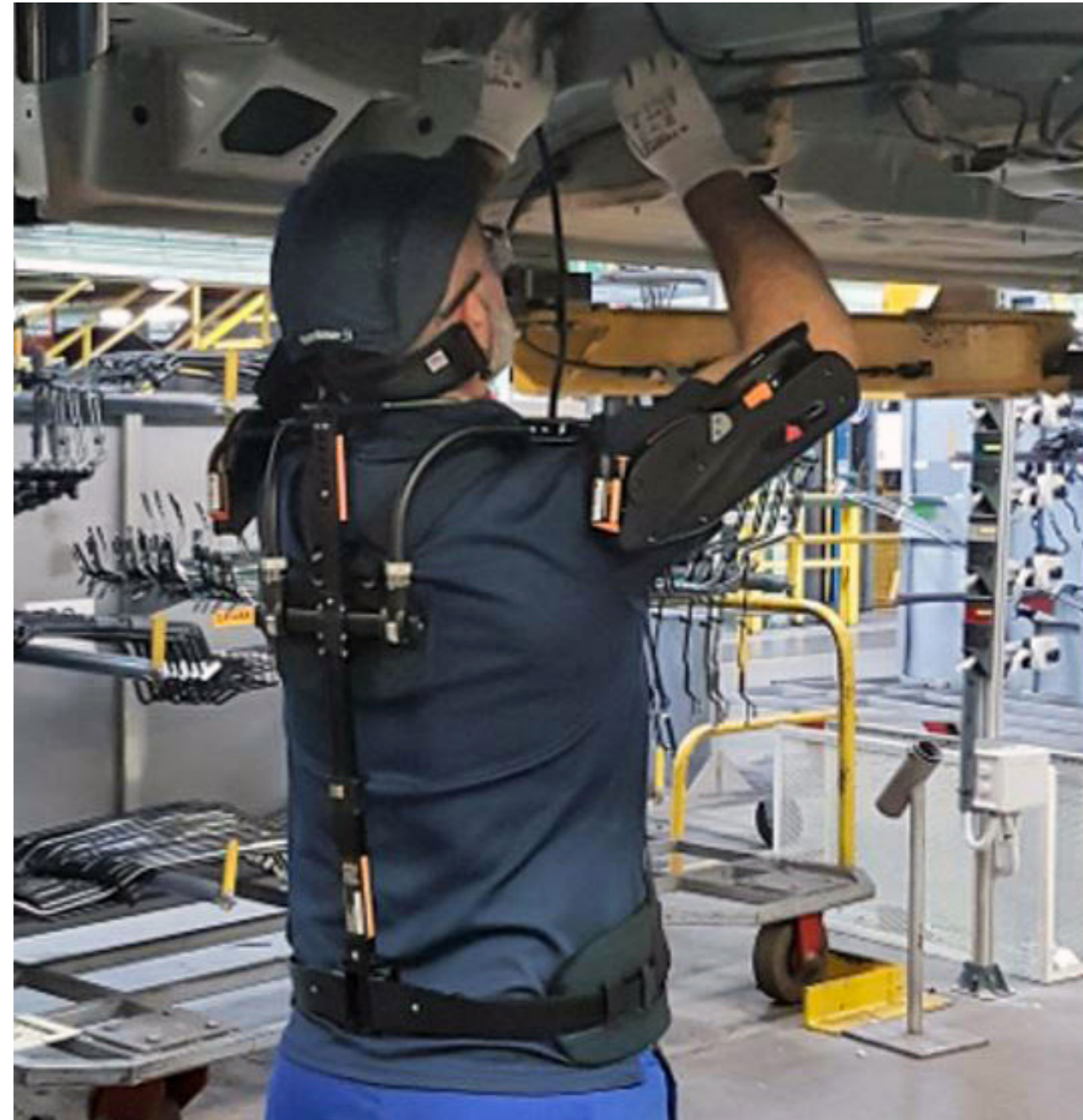
DESARROLLO (METODOLOGÍA EMPLEADA)

Han participado voluntariamente en el estudio 12 trabajadores, 6 de ellos eran usuarios del exoesqueleto (*exos*) y 6 de ellos no (*noexos*), constituyendo los casos de control. Las medidas se llevaron a cabo en 4 estaciones de trabajo diferentes, todas ellas consistentes en tareas que implicaban el manejo de herramientas por encima de la cabeza (Figura 1).

En todos los casos se evaluó la carga muscular mediante electromiografía de superficie (EMG) en los siguientes músculos: cara anterior del deltoides, trapecio, dorsal y erector espinal. Los dos primeros por ser los que potencialmente podrían ver reducida su actividad y, los dos últimos, por la posibilidad de encontrar efectos adversos por un incremento de su actividad.

A partir de medidas concretas obtenidas mediante EMG se desarrolló un modelo biomecánico mediante el cual, a partir de la introducción de los datos de movimiento y medidas antropométricas de los participantes en el estudio, es posible realizar simulaciones de las que extraer información no medida de forma directa durante el desarrollo del estudio.

Figura 1
Operario con exoesqueleto.



Para la captura de movimiento se utilizaron nueve sensores inerciales colocados en cabeza, tronco y brazos, permitiendo la monitorización de las articulaciones de interés: cuello y espalda (rotación axial, flexión lateral y flexo-extensión), hombro (rotación interna-externa, abducción-aducción y flexo-extensión) y codo (pronación-supinación y flexo-extensión) (Figura 2).

El exoesqueleto evaluado es el modelo AIRFRAME™ de la empresa Levitate, que consiste en un sistema de muelles con dos soportes para los brazos (Figura 1). Se activa gradualmente cuando se levantan los brazos (ayudando en la posición con las manos por encima de la cabeza), y reduce su resistencia progresivamente al bajarlos.

Finalmente, tras la realización de las pruebas con el exoesqueleto, los participantes en el estudio completaron un cuestionario en el que se les preguntaba sobre su experiencia de uso del dispositivo (en relación a si les facilitaba la realización de las tareas o si era fácil de quitar y poner) y percepción de reducción de fatiga muscular en cuello, espalda, hombros y piernas.

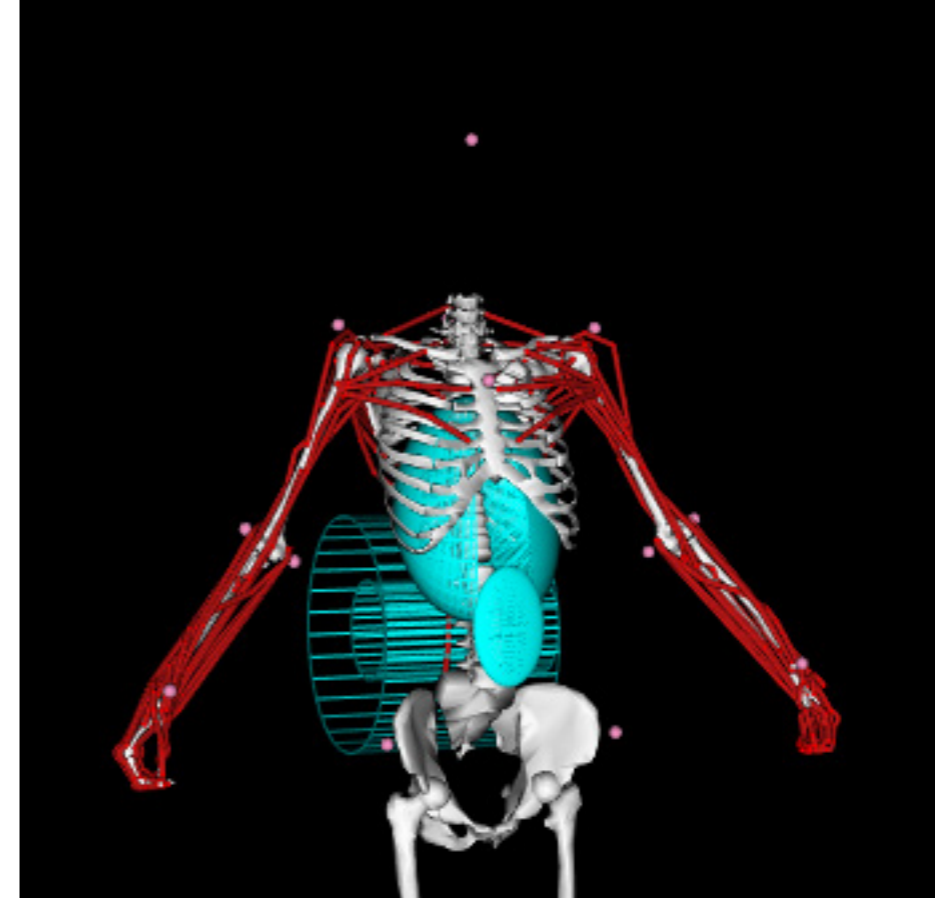
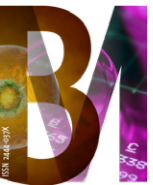


Figura 2

Modelo biomecánico hombros-lumbar desarrollado.



RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En cuanto a los niveles de activación muscular, el exoesqueleto reduce un 34% la actividad media del deltoides, y un 18% la del trapecio. Estos resultados podrían conducir a una reducción de la fatiga, del discomfort y de riesgos relacionados con actividades repetitivas.

Por otra parte, en los músculos potencialmente perjudicados por el uso del exoesqueleto (el dorsal y el erector espinal) no se observó ninguna diferencia significativa en cuanto a su activación. Por lo que el exoesqueleto mejora los esfuerzos en los músculos más afectados por la manipulación de cargas y no tiene efectos adversos en otra musculatura que podría verse afectada por el exoesqueleto.

Respecto al análisis de movimientos, se observaron diferencias significativas en ciertas coordenadas de los ángulos articulares estudiados (reducciones en flexión lateral y rotación axial en la zona lumbar, y en la flexión lateral en el cuello). Por otro lado, se apreció una reducción de la rotación interna-externa del hombro izquierdo y un aumento en la pronación-supinación en el codo derecho. Estas diferencias halladas ponen de manifiesto la ligera restricción que introduce el exoesqueleto en la espalda, y los ligeros cambios de estrategia en la realización de los movimientos que implican las tareas a llevar a cabo. En cualquier caso, todas ellas son menores de 5° y no supone un efecto importante en términos de movilidad.

Finalmente, los resultados de la encuesta mostraron que la sensación de confort aumenta con el uso de este dispositivo y la sensación de disminución de fatiga muscular es percibida por los usuarios del mismo. Sin embargo, afirmaban que un rediseño del exoesqueleto con una estructura

más flexible y adaptada a la anatomía, contribuiría a una mejor aceptación por parte de los usuarios.

Para concluir, cabe decir que, a pesar de que se han podido observar efectos beneficiosos del uso de estos dispositivos, sería interesante realizar estudios longitudinales con muestras mayores. También sería interesante trabajar en definir metodologías estandarizadas para valorar la ergonomía de puestos de trabajo con la introducción del exoesqueleto. □

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible por el interés y colaboración de la plantilla de Ford Valencia Body & Assembly.

Referencias

- [1] A. Leclerc, J. F. Chastang, I. Niedhammer, M. F. Landre, and Y. Roquelaure, *Incidence of shoulder pain in repetitive work*, 6.
- [2] J. Hviid Andersen *et al.* (2002). Physical, Psychosocial, and Individual Risk Factors for Neck/Shoulder Pain With Pressure Tenderness in the Muscles Among Workers Performing Monotonous, Repetitive Work, *Spine*, 27(6), 660, Mar. 2002.
- [3] A. Garg, K. Hegmann and J. Kapellusch (2006). Short-cycle overhead work and shoulder girdle muscle fatigue, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36(6), 581-597, Jun. 2006.
- [4] A. Ebrahimi (2017). Stuttgart Exo-Jacket: An exoskeleton for industrial upper body applications, in *2017 10th International Conference on Human System Interactions (HSI)*, 258-263.
- [5] B. M. Otten, R. Weidner and A. Argubi-Wollesen (2018). Evaluation of a Novel Active Exoskeleton for Tasks at or Above Head Level, *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(3), 2408-2415, Jul. 2018.
- [6] E. Rashedi, S. Kim, M. A. Nussbaum and M. J. Agnew (2014). Ergonomic evaluation of a wearable assistive device for overhead wo. *Ergonomics*, 57(12), 1864-1874.