



EXOESQUELETOS DE MIEMBROS INFERIORES Y LAS DIFICULTADES DE SU USO EN LA CADENA DE MONTAJE DE AUTOMÓVILES: LA VISIÓN DE LA ERGONOMÍA

Almir Paribello ^{1*}

Ana Carolina Parise Diniz ²

Douglas Rodrigo Sérgio ³

Edgard de Oliveira Neto⁴

Lucas Alves de Andrade Volpe⁵

Luiz Marcelo Marcondes Coelho de Oliveira⁶

Vilson Paulo Tauffer⁷

Reinaldo Rodrigues de Oliveira⁸

Thiago Alves Oliveira⁹

Resumen

Insertado en la industria 4.0, el exoesqueleto es una estructura electromecánica o mecánica que combina la forma y las funciones del cuerpo humano, trabajando en paralelo con él. Según Chen et al. (2016), los exoesqueletos se pueden clasificar según los segmentos del cuerpo humano soportados por la estructura. Los autores los clasifican como exoesqueletos de miembros superiores, miembros inferiores, cuerpo entero y exoesqueletos específicos de soporte articular. Este artículo se centra en el uso de exoesqueletos de extremidades inferiores, que según Chen et al. (2016), pueden eliminar cargas en el trabajo manual, reducir la probabilidad de lesiones y mejorar la eficiencia laboral. Objetivos: Los exoesqueletos de las extremidades inferiores permiten el descanso de la columna vertebral y la alternancia postural de estos segmentos corporales, pero se realizan pocas pruebas en el entorno laboral que planteen las dificultades de adaptación. Así, el objetivo de este estudio fue presentar las pruebas realizadas y plantear las dificultades de su uso por parte de los operadores de la línea de montaje de la empresa Hyundai Motor Brasil. Método: El estudio de caso se dividió en tres etapas: la primera fue la investigación del proveedor, la selección del tipo de producto y la selección del tamaño del exoesqueleto. La elección del exoesqueleto de la extremidad inferior se debió a la observación de procesos que permitían la alternancia de posturas de pie y sentado. La segunda etapa fue estudiar y entender las características del producto para poder implementarlo en la línea e iniciar la tercera etapa, las pruebas con los exoesqueletos. Resultados: Después de su

¹ Jefe del Departamento de Medio Ambiente, Salud y Seguridad de Hyundai Motor Brasil.

*almir.paribello@hyundai-brasil.com.

² Ergónomo

³ Técnico en Enfermería del Trabajo

⁴ Médico del Trabajo

⁵ Analista de Procesos de Ensamblaje

⁶ Médico del Trabajo

⁷ Médico del Trabajo

⁸ Técnico en Enfermería del Trabajo

⁹ Coordinador y Médico del Trabajo



uso, se entrevistó a los empleados y se les plantearon las principales dificultades, las cuales se separaron en dos clasificaciones: en cuanto al uso del exoesqueleto y su adaptación en los lugares de trabajo. Conclusión: Aunque existen estudios que presentan los beneficios del uso de exoesqueletos en la rehabilitación, la adaptación de su uso en los procesos productivos en la cadena de montaje de automoción no es sencilla, ya que hay que tener en cuenta las características intrínsecas de la producción e influir en la implementación de los dispositivos. Se concluye que son necesarias pruebas en entornos de trabajo con exoesqueletos de forma que se plantean las dificultades de adaptación, para una posterior implantación definitiva de los dispositivos, de forma que la satisfacción de los trabajadores sea positiva e incremente el confort.

Palabras clave: industria 4.0; exoesqueleto; ergonomía.

LOWER LIMB EXOSKELETONS AND THE DIFFICULTIES OF THEIR USE IN THE AUTOMOTIVE ASSEMBLY LINE: THE VIEW OF ERGONOMICS

Abstract

Inserted in Industry 4.0, the exoskeleton is an electromechanical or mechanical structure that combines the shape and functions of the human body, working in parallel with it. According to Chen et al. (2016), exoskeletons can be classified according to the segments of the human body supported by the structure. The authors classify exoskeletons of upper limbs, lower limbs, whole body and exoskeletons of joint support. This article focuses on the use of lower limb exoskeletons, which according to Chen et al. (2016), can eliminate loads in manual work, decrease the likelihood of injuries and improve work efficiency. Objectives: exoskeletons of lower limbs allow spine rest and postural alternation of body segments; however few tests are performed in the work environment to raise the difficulties of adaptation. Thus, the objective of this study was to present the tests carried out and to raise the difficulties of their use by the assembly line operators of the company Hyundai Motor Brasil. Method: The case study was divided into three stages: the first was researching suppliers, selecting the type of product and selecting the size of the exoskeletons. The choice of the lower limb exoskeleton was due to the observation of processes that made it possible to alternate standing and sitting postures. The second stage was to study and understand the characteristics of the product so that it could be implemented in the line and start the third stage, tests with exoskeletons. Results: After use, employees were interviewed and raised the main difficulties, which were separated into two classifications: regarding the use of the exoskeleton and how to adapt it in the work stations. Conclusion: Although there are studies that present the benefits in the use of exoskeletons in rehabilitation, the adaptation of their use in the production processes in the automobile assembly line is not simple, since the intrinsic characteristics of the production must be considered and influence the implementation of the devices. It is concluded that tests in work environments with exoskeletons are necessary for the adaptation difficulties to be raised, for a later definitive implementation of the devices, so that the workers' satisfaction is positive and increases the comfort.

Keywords: industry 4.0; exoskeleton; ergonomics.

1. INTRODUCCIÓN



La Industria 4.0, también llamada Manufactura Avanzada, Industria del Futuro y Fábrica Inteligente, se caracteriza por la integración de los procesos productivos con el entorno virtual, a través de tecnologías modernas, como la Comunicación Máquina a Máquina, Big Data, Internet de las Cosas, Inteligencia Artificial, Almacenamiento en la Nube, Robótica Avanzada y otras (Bortoluci, 2018).

Insertado en la industria 4.0, el exoesqueleto es una estructura electromecánica o mecánica que combina la forma y las funciones del cuerpo humano, trabajando en paralelo con él. Puede realizar una función mecánica o de sistema de control, con el objetivo de aumentar la potencia humana, rehabilitar o realizar interacciones hápticas (Anam y Al-Jumaily, 2012). Según Chen et al. (2016), los exoesqueletos se pueden clasificar según los segmentos del cuerpo humano soportados por la estructura. De esta forma, los autores los clasifican como exoesqueletos de extremidades superiores, exoesqueletos de extremidades inferiores, exoesqueletos de cuerpo entero y exoesqueletos específicos de soporte articular.

Los exoesqueletos de las extremidades inferiores se denominan *comúnmente silla portátil, silla sin silla, exoesqueleto de rodilla* o silla portátil, que permite a las personas caminar, pararse o sentarse utilizando el exoesqueleto. Así, este artículo se centra en el uso de exoesqueletos de extremidades inferiores, que según Chen et al. (2016), pueden eliminar cargas en el trabajo manual, reducir la probabilidad de lesiones y mejorar la eficiencia laboral. Esto de acuerdo con el Manual para la Aplicación de la Norma Reglamentaria NR 17, publicado por el Ministerio de Trabajo en 2002, que destaca la importancia de alternar la postura de pie y sentado. Según el manual, la alternancia postural permite la alternancia del uso de los músculos, ya que los músculos utilizados para mantener la postura de pie son diferentes de los músculos utilizados para mantener la postura sentada (MTE, SIT, 2002).

2. GOL

En la etapa de diseño de modificaciones y cambios en las condiciones de trabajo del Análisis Ergonómico del Trabajo, el analista ergonómico debe proponer mejoras dirigidas tanto a la producción como a la salud (MTE, SIT, 2002), teniendo en cuenta el análisis de las posturas requeridas y las posibles variaciones a lo largo de una determinada actividad en el trabajo (Abrahão et al., 2009), de esta manera el exoesqueleto puede ser una opción de mejora, ya que se conocen los beneficios de su uso para el cuerpo humano.

Los exoesqueletos de las extremidades inferiores permiten el descanso de la columna vertebral y la alternancia postural de estos segmentos corporales, sin embargo, se realizan pocas pruebas en el entorno laboral que planteen dificultades de adaptación (Chen et al., 2016). Así,



el objetivo de este estudio fue presentar las pruebas realizadas y plantear las dificultades sobre el uso de la *silla portátil* o exoesqueleto de las extremidades inferiores por parte de los operadores de la línea de montaje de la empresa Hyundai Motor Brasil.

3. METODOLOGÍA

El presente estudio de caso se dividió en tres etapas, la primera de las cuales fue la búsqueda de proveedores, selección del tipo de producto y selección del tamaño de los exoesqueletos. La elección del exoesqueleto de la extremidad inferior se debió a la observación de procesos que permitían la alternancia de posturas de pie y sentado.

La segunda etapa fue estudiar y entender las características del producto para poder implementarlo en la línea e iniciar la tercera etapa, las pruebas con los exoesqueletos.

4. SELECCIÓN DE TAMAÑO

El proveedor seleccionado presentó 5 recomendaciones, las cuales variaron de acuerdo con la altura corporal, presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Tamaños disponibles de exoesqueleto de extremidad inferior.

Tamaño	Medidas (altura)
2 Buen juego	183 cm o más
GG	De 174 cm a 182 cm
G	De 164 cm a 173 cm
M	De 155 cm a 163 cm
P	De 145 cm a 154 cm



Debido a que el uso se lleva a cabo exclusivamente por el género masculino, se adquirieron aleatoriamente dos tamaños de exoesqueletos:

- 1) G: recomendado para personas de 164 cm a 173 cm de altura;
- 2) XL: recomendado para personas de 174 cm a 182 cm de altura.

4.1. Características del producto

La estructura cuenta con 2 varillas metálicas con brazos articulados de Aluminio 7075, que permiten el movimiento de las articulaciones de la rodilla y la cadera. El material de la tela es Poliéster y Cordura, con cojines de Polietileno, tiene ajuste con velcro en la cintura y pantorrillas y ajuste con trabillas en los muslos (Datos proporcionados por el proveedor). Los pies tienen una cubierta de goma. Según el proveedor, ambos tamaños soportan hasta 120 kg.

4.2. Pruebas

La fase de pruebas se llevó a cabo en tres etapas, totalizando una muestra de 30 personas. En la primera etapa, en agosto de 2016, los exoesqueletos fueron probados por el equipo de ingeniería (5 personas), con el fin de comprender el funcionamiento, el uso, la efectividad y los posibles riesgos del uso del producto. Las pruebas se realizaron primero en la Sala de Materiales, con un estudio de las instrucciones de uso y vestimenta.

Después de la aprobación de ingeniería, entre septiembre de 2016 y octubre de 2016, se llevó a cabo la segunda prueba, que fue en la línea de ensamblaje de motores. Se eligió esta línea porque los operarios trabajaban delante de los bancos, de pie. En primer lugar, se realizó una breve formación con los jefes de equipo y de grupo (aproximadamente de 20 a 30 minutos), que transmitieron la información a los operadores. También se preparó una instrucción interna para su uso. La prueba se llevó a cabo con 15 personas, que llevaron el exoesqueleto durante una o dos horas, de forma no consecutiva, de lunes a viernes.

La segunda prueba se llevó a cabo entre enero y marzo de 2018, con 10 personas, 5 que realizan funciones administrativas, elegidas al azar, y 5 trabajadores de producción experimentados. En producción, las pruebas se llevaron a cabo en 3 líneas diferentes: Línea de Montaje de Puertas, Línea de Montaje Final 1 y Línea de Montaje Final 2. El uso del exoesqueleto en la tercera etapa de pruebas fue de 10 a 30 minutos por persona.



5. RESULTADOS

Después de utilizar los exoesqueletos, se entrevistó a los empleados y se les plantearon las principales dificultades, que se separaron en dos clasificaciones: en cuanto al uso del exoesqueleto y su adaptación a los puestos de trabajo (Tabla 2).

Tabla 2. Dificultades señaladas durante y después del uso del exoesqueleto.

Clasificación	Detalles
Cuánto utilizar	Aprende a ponerte y ajustar las fajas.
	Sensación de calor.
	Sensación de desequilibrio al sentarse.
	Molestias en relación al ajuste en los glúteos.
	Al caminar, los pies de goma podrían golpear el suelo.
	Riesgo de que los pies de goma se enreden en el zapato.
	Cansancio en las extremidades inferiores al sentarse.
Ajuste en el procedimiento	Restricción en el movimiento a lo largo de la línea, cuando se está en la postura sentada.
	Dificultad para colocar los pies de goma en los puestos de trabajo donde el coche avanza en la pista.
	Riesgo de que los pies de goma se enreden en el espacio del cinturón.
	Alcance restringido en la línea de montaje de puertas.
	Sustitución por bancos.

Fuente: entrevista a los trabajadores (Elaboración propia).

En cuanto al uso del dispositivo, las siete molestias reportadas inmediatamente por las personas que lo utilizaron fueron la dificultad para ponerse y ajustar los cinturones, en cuanto al ajuste, especialmente en las pantorrillas y la cintura, ya que se ve que, en las líneas de producción, cada hora hay una rotación entre puestos de trabajo y el cambio del exoesqueleto entre operadores; sensación de calor durante el movimiento en la línea de producción, con informes de sudoración en la región abdominal y pantorrillas; sensación de desequilibrio al sentarse; sensación de inestabilidad y dolor en la región de los glúteos al sentarse; los pies de goma pueden tocar el suelo o enredarse en el zapato al caminar; Fatiga en las extremidades inferiores al sentarse sobre el exoesqueleto (región del cuádriceps derecho e izquierdo).



En cuanto a los procesos productivos de montaje, se plantearon cinco dificultades. La primera fue la restricción que genera el exoesqueleto al seguir el avance del coche en la línea de montaje, especialmente en el montaje de las puertas, ya que las piezas avanzan sobre un riel y la persona permanece en la postura estática de las extremidades inferiores, cuando está sentada. La segunda fue en relación con el avance de la cinta de correr en la línea de montaje de Final 2, el trabajo se realiza en los lados del automóvil, y al sentarse con el exoesqueleto, puede suceder que uno de los pies esté fuera de la cinta de correr, o ambos. Para trabajos que se realizan encima de la cinta de correr, puede suceder que los pies de goma encajen en los huecos de la misma, lo que aumenta la inestabilidad en la postura sentada, no hay riesgo de caídas, sin embargo para las personas que no están adaptadas al dispositivo, puede ser un factor que genere inseguridad. En la línea de montaje de puertas, la postura sentada no era factible, debido al alcance, que condiciona la flexión del tronco cerca de los 45°. Otro de los puntos planteados durante las pruebas ha sido la opción de sustituir el uso del exoesqueleto por bancos en los puestos de trabajo, donde existe la opción de realizar actividades en posición de pie y sentado y permitiendo la presencia de asientos.

6. CONCLUSIÓN

En este artículo se presentan las dificultades de adaptación del exoesqueleto de las extremidades inferiores en el proceso de montaje de automoción, mediante ensayos realizados con dos tamaños diferentes. Aunque existen estudios que demuestran los beneficios del uso de exoesqueletos en la rehabilitación (McGibbon et al., 2017; Villa-Parra et al., 2015; Lo y Xie, 2012), la adaptación de su uso a los procesos productivos en la línea de montaje de automoción no es tan sencilla, ya que hay que tener en cuenta las características intrínsecas a la producción (como el avance automático de la línea, el avance automático de la cinta, el desnivel del suelo y la rotación entre procesos) e influir en la implementación de los dispositivos.

De manera similar a Chen et al. (2016) se concluye que se necesitan más pruebas en entornos de trabajo con los diversos tipos de exoesqueletos por lo que se plantean las dificultades de adaptación, así como las mostradas en el presente estudio, para una posterior implementación definitiva de los dispositivos, de manera que la satisfacción de los trabajadores sea positiva y se produzcan ganancias en comodidad, el bienestar en el trabajo y, en consecuencia, el aumento de la productividad.



REFERENCIAS

Abrahão J.; Sznelwar L.; Silvino A.; Sarmet M.; Pinho D. (2009). Introdução à ergonomia: da prática à teoria. São Paulo: Blucher.

Anama K., Al-Jumaily A. A (2012). Active Exoskeleton Control Systems: State of the Art. *Procedia Engineering*, 41, 988–994.

Bortoluci L. Indústria 4.0: Motor do desenvolvimento. In: <https://www.industria40.ind.br/artigo/17390-industria-40-motor-do-desenvolvimento>. Acesso em 05/12/2018.

Chen B., Ma H., Qin L., Gao F., Chan K., Law S., Qin L., Lia W (2016). Recent developments and challenges of lower extremity exoskeletons. *Journal of Orthopedic Translation*, 5, 26-37.

Lo H. S.; Xie S. Q. (2012). Exoskeleton robots for upper-limb rehabilitation: State of the art and future prospects. *Medical Engineering & Physics* (34) 261– 268.

McGibbon A. C.; Brandon S. C. E.; Brookshaw M.; Sexton A. (2017). Effects of an over-ground exoskeleton on external knee moments during stance phase of gait in healthy adults. *The Knee*.

Ministério do Trabalho. (2002). Manual de aplicação da Norma Regulamentadora nº 17 – 2 ed. Brasília: MTE, SIT.

Villa-Parra A.C.; Delisle-Rodríguez D.; López-Delisc A.; Bastos-Filho T.; Sagaró R.; Frizera-Neto A. (2015). Towards a robotic knee exoskeleton control based on human motion intention through EEG and EMG signals. *Procedia Manufacturing* (3) 1379-1386.