



EVALUACIÓN Y PRUEBA DEL EXOESQUELETO EN UNO LÍNEA EN ASAMBLEA

Maria Victoria Cabrera Aguilera: DSc. mvca85@gmail.com Univesidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ

Bernardo Bastos da Fonseca: DSc. bernardo.fonseca@uerj.br Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ

Paula Carvalho Monetto: Esp. paulamonetto@gmail.com

João Marcos Viana de Quadros Bittencourt: DSc. joaombittencourt@gmail.com Universidade Federal Fluminense – UFF

RESUMEN

Este trabajo presenta un estudio inicial para evaluar y probar un exoesqueleto pasivo para miembros superiores en una línea en producción automotriz. Las pruebas se realizaron en área desde el cuadro Es en asamblea durante uno día en producción Es a nosotros dos turnos en trabajar con la participación de diferentes sectores de la empresa. En total, siete operadores participaron en el Se evaluaron pruebas y seis puestos de trabajo. Se observó que en ambas áreas el uso de exoesqueleto No presentado cambiar en el tiempo ciclo de Actividades ejecutado por el operadores. en actividades que requieren apoyo de las extremidades superiores, el exoesqueleto parece más favorable. Sin embargo, en actividades en las que el operador necesita bajar y levanta los brazos varias veces durante el ciclo de trabajo, el equipo aparece desfavorable, entonces oh operador encuentra resistencia para más bajo oh brazo. Y necesario profundizar estudios con otros modelos de exoesqueletos del mercado y realizar pruebas con mayor tiempo en duración.

PALABRAS CLAVE: Exoesqueleto, Ergonomía, Línea en Asamblea, Miembros Superiores.

1. INTRODUCCIÓN

La industria del automóvil busca conseguir una mayor robustez y precisión de los dispositivos automatizado en sus instalaciones. En este contexto, algunos trabajos requieren operador movimientos corporales complejos, razonamiento y habilidades precisas, mientras que el tecnologías actual en robótica presente algunas limitaciones en relación El viabilidad, percepción, velocidad o flexibilidad para ser implementado en estaciones en trabajar.

En Brasil prevalecen industrias automotrices que tienen empleo Trabajo manual en el montaje del vehículo, que requiere cargas posturales, movimientos. repetitivo Es duración de tareas reducidas.

La ergonomía en la industria del automóvil tiene como uno de sus principales objetivos el Reducción o eliminación de puestos de trabajo donde el operador tiene que adoptar posturas. inadecuado, cargas pesado para transporte manual o esfuerzos excesivo (PLAN DE ESTUDIO; CAPÓ; COLLEDANI; FRAISSE, 2014), siempre de manera que el resultado sea la reducción de exposición a factores de riesgo ocupacional agudos y acumulativos (SPADA; GHIBAUDO; GILOTTA; GASTALDI; CAVATORTA, 2017).

A reducción de estos rayones Es tratado como uno tema prioridad en el planificación en jefes de producción de plantas de líneas de montaje (KARVOUNIARI; MICHALOS; DIMITROPOULOS; MAKRIS, 2018).

Las tareas con hombros elevados o manos por encima de la cabeza se consideran un factor de riesgo. riesgo para oh aparición en disturbios musculoesquelético a nosotros espalda (NORDANDER; HANSSON; OHLSSON; ARVIDSSON; BÁLOGO; STRÖMBERG; RITTNER; SKERFVING, 2016). Estos disturbios ellos son consideró uno inquietud en salud ocupacional a nosotros ubicaciones en trabajar, entonces ellos pueden demanda uno lejos período en recuperación del operadores. Obras realizado con miembros superiores arriba desde el cabeza todavía ellos son necesario para algunas tareas, y en determinadas situaciones no se eliminan fácilmente de algunas publicaciones de trabajo pendiente hacia costo y el propio característica de la tarea (KIM; NUSBAUM; ESFAHANÍ; ALEMI; ALABDULKARIM; RASHEDI, 2018). A elevación en hombro o manos por encima de la cabeza impone demandas fisiológicas y biomecánicas en el hombro del obrero (DUELO; DICKERSON, 2018).

Diferentes intervenciones, como usar de manipuladores, polipastos y otros dispositivos ellos son introducido a nosotros ubicaciones en trabajar con oh meta en reunirse hacia quejas Trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo en el uso de herramientas manuales y manipulación de materiales (KARVOUNIARI; MICALOS; DIMITROPOULOS; MAKRIS, 2018).

Entre las intervenciones aplicadas en los lugares de trabajo, se presenta el

exoesqueleto como alternativa para controlar las demandas físicas, especialmente aquellas relacionadas hacia manejo en material (RELOJAR; BOSCH; KRAUSE; STADLER; O'SULLIVAN, 2015).

El exoesqueleto se utiliza en diferentes áreas, como la medicina para la rehabilitación de pacientes (LO; XIE, 2012), en el área militar con aplicación a soldados (LEE; WANSON; HAN; CHANGSOO, 2012) Es en industria (RELOJAR; BOSCH; KRAUSE; STADLER; O'SULLIVAN, 2015).

Exoesqueletos ellos son ejemplos en colaboración entre humanos Es robots. oh robot Colaborativo está diseñado para ayudar al trabajador a realizar una tarea. Exoesqueletosellos son uno tipo particular en robot colaborativo qué presente funcionalidades qué ellos pueden satisfacer las necesidades de ergonomía en las industrias, como la compensación de carga postural y pedido en miembros superiores (SYLLA; CAPÓ; COLLEDANI; FRAISSE, 2014).

El exoesqueleto es una estructura mecánica externa portátil diseñada funcionar en armonía con el ser humano para brindarle apoyo o mejorar su capacidad. Hay dos tipos de exoesqueleto. Puede ser pasivo cuando brinda apoyo. o protección, o puede ser activa, mediante la provisión de fuerza adicional (KARVOUNIARI; MICALOS; DIMITROPOULOS; MAKRIS, 2018).

Este trabajo presenta un estudio inicial para evaluar y probar un exoesqueleto pasivo para miembros superiores en una línea de producción de automóviles. El objetivo es describir la sistemático adoptado Para el Sector en Ergonomía desde el empresa en el primero contacto con oh equipo y entender cómo funciona en ciertos trabajos en operaciones en pintura y en montaje de vehículos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. DEFINICIÓN DEL EQUIPO

El modelo de exoesqueleto utilizado para realizar las pruebas en la línea de producción es caracterizado por ser una asistencia pasiva dirigida a los miembros superiores. Modelo elevar Es apoya tú brazos del operador para Ayudarte en el Actividades qué implicar en movimientos y/o apoyo de brazos levantados y extendidos desde el nivel del pecho hasta por encima de la cabeza. Además, el modelo utilizado permite el uso de trabajar durante El realizando las tareas de asamblea.

Oh equipo probado Tiene chaleco en ropa ajustable, Peso total en 4.3 kilogramos con asistencia de elevación ajustable en cuatro niveles (1 a 4), entre 2,2 y 6,8 kilogramos, respectivamente, por brazo Es altura de trabajar entre 152 Es 193 centímetros.

2.2. DEFINICIÓN DEL PUBLICACIONES EN TRABAJAR

La definición de los trabajos donde se probó el exoesqueleto siguió la siguiente Criterios: operaciones realizadas bajo el automóvil que impliquen la adopción y/o apoyo de Posturas con elevación de hombros por encima de 45° y estaciones de trabajo que tienen quejas. ligado a la demanda musculoesquelética de los miembros superiores. Con base en estos criterios, Se seleccionaron tres puestos de trabajo en dos sectores diferentes de la planta de fabricación, donde carrocería del vehículos camina tú publicaciones en obras en molde suspendido, arriba del operadores, en los sectores de cuadro Es en asamblea.

Los puestos de trabajo seleccionados en el sector de la pintura están ubicados en una zona cerrado y refrigerado. Cada estación de trabajo cubre una región del automóvil, donde el operador realiza sus tareas. El suelo es de rejilla metálica y tiene dos niveles delimitados por guardas. cuerpos, donde los operadores realizan sus actividades vistiendo overoles impermeables, además de otros equipos de protección personal. Los operadores utilizan el trabajo con brocha, pistola de aplicación de compuesto sellador extruido y pistola de aplicación rociado en CLORURO DE POLIVINILO con Peso aproximado en 1.11 kilogramos El 2.15 kilogramos, respectivamente. Hacia operaciones del publicaciones evaluado implicar en solicitud Es cepilladodel cordón de compuesto sellador y la aplicación de PVC en el suelo y en el ruedas, dónde oh operador si desplazar hacia lejos del correo en trabajar Es realiza movimientos Dedos lineales y en gatillo con apoyo de los miembros superiores durante el 90% del tiempo. tiempo ciclo (Ver figura 1).

Cifra 1. Publicaciones en trabajar desde el área en cuadro Es asamblea.



Los trabajos seleccionados en el área de montaje se caracterizan por ser situado en área abierto refrigerado por aficionados dirigido donde cada operador realiza hacia su tareas. Tú operadores Permanecen acerca de uno plataforma corredizo qué acompaña la carrocería, delimitando la zona del puesto de trabajo. Hacia herramientas de trabajo utilizadas estos son destornilladores tipos de pistola y en ángulo, con un peso aproximado de 2,7 kilogramos y 3,15 kilogramos. Mientras realizan tareas, los operadores recogen varias piezas y tornillos dispuestos cerca de las zonas de operación para realizar el montaje y fijación del mismo, lo que implica movimientos de abducción y aducción del hombro durante más del 30% del Tiempo del ciclo.

2.3. SELECCIÓN DE OPERADORES

Los operadores que participaron en la prueba del exoesqueleto son hombres, con aproximadamente un año en el cargo y con edades comprendidas entre 20 y 35 años. En total, siete operadores participó de la prueba, con tres de los cuadros. Es cuatro en el sector en asamblea.

La prueba en el sector de pintura se desarrolló en pleno primer turno de trabajo. La prueba en el sector maquila se produjo en dos momentos: al final del primer turno de trabajo y al final comenzar de la segunda ronda de trabajar.

2.4. ÁREAS INVOLUCRADO

Tú sectores involucrado quien participó de la prueba en la línea de producción. Ellos eran el sector en fabricación, ingeniería industrial, ingeniería de procesos, ergonomía y el representante de exoesqueleto.

La fabricación determinó los operadores que participan en la prueba según el grado de experiencia en el correo. El operador comprendió todo hacia tareas del correo: vendaje del exoesqueleto sin ningún cambio en el procedimiento operativo.

A ingeniería industrial analizó el tiempo por operación durante la ejecución de operaciones *en loco*. El fin de identificar cualquier cambio en el tiempo ciclo de correo en trabajar.

El estudio relacionado hacia operación de mantenimiento del equipo fue dejado bajo responsabilidad del sector en ingeniería en proceso.

El sector de ergonomía fue el responsable de probar, evaluar y devolver el uso del exoesqueleto en línea de producción. Este sector comprendió el contacto con el representante del equipo, alineado hacia información con tú sectores involucrado, programado la prueba. Se estableció los pasos de la prueba. Al final, el sector de la ergonomía realizó el reembolso a través de la compilación de datos. Es la presentación de resultados obtenidos en la gestión de empresa.

El representante del exoesqueleto hizo los ajustes necesarios al equipo mientras lejos del examen acuerdo a petición de los operadores.

2.5. ETAPAS DE LA PRUEBA

Antes de comenzar la prueba, cada operador participante recibió aclaraciones desde el ergonomista sobre el estudio del exoesqueleto en la línea de producción y la importancia de realizar las tareas con normalidad. El representante del equipo luego explicó el funcionamiento del exoesqueleto y ayudó al operador a ponérselo. Inmediatamente el operador condujo hacia su correo en trabajar. Se comenzó hacia tareas. A nosotros primero

minutos en usar del equipo, el representante comprendió ajustes a nosotros parámetros del exoesqueleto según solicitud de los operadores. La duración de las pruebas en cada estación de trabajo fue acerca de treinta minutos, que fueron registrados en audio y video.

Durante este tiempo, todos los sectores involucrados participaron en la prueba cercana a la estación de trabajo, sin embargo, sólo el ergonomista y el supervisor de la estación de trabajo supervisó de cerca todas las operaciones realizadas por el operador. y cuestionado algunos momentos las percepciones del uso del exoesqueleto.

Ellos eran usadas técnicas en observación (KIRWAN; AINSWORTH, 1992 y JONASSEN; TESMER; HANNUM, 1999) para recopilar datos sobre cómo se realizaron las tareas. llevado a cabo con el uso del exoesqueleto. Hacia técnicas de observación de esta estudiar Ellos eran usados para registro El secuencia completo en comportamiento, para captura eventos visuales relevantes en el comportamiento de operadores Es en las interacciones entre el operador y el exoesqueleto.

Hacia finalizar la prueba, el operador evaluó el equipo en una escala de 0 a 10, donde 0 fue el índice de satisfacción más bajo y 10 el más alto. Además, la experiencia y sensación del usar del equipo durante la ejecución desde la actividad mano de obra en línea en asamblea.

A último escenario consistió en la compilación de los datos de muchos diferentes sectores Participantes y en la presentación de resultados basados en la visión de cada sector involucrado para el direccionamiento de empresa.

Las pruebas realizadas de pintura y montaje se desarrollaron durante una jornada de producción, debido a la disponibilidad del representante para proporcionar y monitorear la prueba del equipo. Y importante destacar que, durante las pruebas, la línea en asamblea no tuvo demanda judicial productiva. No Ellos eran interrumpido. el ritmo de la operación desde la producción se mantuvo sin alterar.

3. RESULTADOS

La prueba comenzó en el sector de pintura en horas de la mañana, en plena jornada laboral de los operadores. La regulación de los parámetros del exoesqueleto para soportar carga en cada estación de trabajo empezó con el ajuste más bajo (nivel 1). A lo largo de la prueba, el nivel de ajuste se aumentó gradualmente para capturar la percepción del operador de cada uno de los parámetros del equipo.

En las publicaciones de trabajar del sector en cuadro requerir que el operador llevar a cabo su actividad con movimientos de elevación de los miembros superiores, en la que los codos son a la altura del hombro (Figura 2). En estas posiciones, Los operadores informaron la necesidad de mayor atención al uso de exoesqueletos para que no choquen con el equipo y

Mobiliario existente en la línea de producción. En cuanto a la regulación del exoesqueleto, el Los operadores prefirieron el segundo nivel. En la tercera estación de trabajo, donde el operador realiza actividades elevando las extremidades superiores y el codo por encima del hombro con la Con los brazos extendidos, el operador prefirió el tercer ajuste del exoesqueleto, que proporciona mayor capacidad de carga. Se observó que, en este puesto, la actividad requiere que el operador apoye las extremidades superiores alto durante un largo período.

Cifra 2. Prueba del exoesqueleto en área desde el cuadro Es desde el asamblea.



Aunque los ajustes para cada operación son diferentes según el requisito del operador, la puntuación atribuida por cada uno de ellos en relación a la satisfacción y utilización del equipo eran las ocho.

En el sector de montaje, la prueba comenzó por la tarde, al finalizar la primera turno de trabajo y al inicio del segundo turno de trabajo. El ajuste del equipo fue invertida en relación a las pruebas realizadas en el área de pintura, comenzando por las más alto (nivel 4) y reducido gradualmente hasta el nivel considerado óptimo por todos Operadores en todas las estaciones de trabajo (nivel 2). Según los operadores, el nivel de ajuste más alto requerir de ellos uno más grande esfuerzo para Para descender tú brazos, entonces, pendiente hacia características de las actividades, los operadores necesitan bajar los brazos para recoger piezas y herramientas, para luego sostener los miembros superiores durante el montaje. En dos estaciones de trabajo, los operadores informaron la necesidad de una mayor atención con respecto al uso de exoesqueleto para que no choquen con los equipos y muebles existentes en la línea de producción. Una de las estaciones de trabajo donde se probó el exoesqueleto tiene un área libre de interino del operador, oh qué No despertó en el operador El inquietud durante oh su desplazamiento en el correo de trabajo. En relación El satisfacción Es usar del exoesqueleto, uno El operador calificó el equipo con una puntuación de diez, la calificación más alta. El otro operador evaluado con nota nueve.

El tercer rango de trabajo de asamblea presenta la particularidad de que la prueba él era logrado con dos operadores en momentos distinto. Uno prueba en final de la primera turno de trabajo, y el otro al inicio del segundo turno de trabajo. Esto fue importante para Identificar el comportamiento y percepción de fatiga después de la jornada laboral y al inicio de la misma. viaje. A pesar de los diferentes momentos, la puntuación otorgada por ambos

operadores fue nueve Es el parámetro de La regulación era de nivel 2.

Se observó que, en todos los trabajos, tanto en la pintura como en asamblea dónde oh exoesqueleto él era probado, No había cambiar a tiempo ciclo de Actividades ejecutado por el operadores. Aún, había una reducción en el rehacer Es, como consecuencia, en el tiempo en ejecución desde el operación en el correo en trabajar desde el área desde el montaje donde el operador utiliza una herramienta dinamométrica para fijar tornillos y requiere precisión para posicionar el herramienta, El fin en garantizar el enhebrado de tornillo.

Cada operador informó la tu experiencia y sensación de utilizar el equipo durante su actividad mano de obra en línea en asamblea. Del total en operadores Participantes, 71% informó la necesidad de utilizar fuerza para bajar el brazo durante la actividad, lo que Destaca la importancia de ajustar el exoesqueleto a las características de la actividad. En relación al volumen que tiene el equipo, el 43% reportó preocupación al recordar que llevaba puesto el exoesqueleto. Otro 14% indicó que sentía molestias por el contacto con el exoesqueleto. con el cuerpo, especialmente en región desde el cintura y 57% describió que lo equipo ayudado con precisión del uso de herramientas de trabajo arriba desde la cabeza, lo que facilitó la su operaciones.

4. CONCLUSIÓN

A existencia en estaciones en trabajar manual qué demanda del operadores agilidad y la precisión es una realidad en la industria del automóvil. Algunas de estas tareas requieren levantar del miembros superiores hacia lejos del cambio mano de obra, oh qué él puede para generar sobrecarga osteomioarticular y fatiga. En este contexto, la ergonomía tiene el papel de estudiar soluciones. minimizar o eliminar posibles riesgos que puedan impactar negativamente en la salud del operador. El exoesqueleto se destaca como una posible solución para hacer frente a estos arañazos.

Las pruebas realizadas en la línea de producción descrita anteriormente fueron fundamentales para analizar la viabilidad de aceptar la Funcionalidad del operador y del equipo en las tareas. con elevación de miembros superiores.

Las pruebas se realizaron en tres momentos diferentes, al inicio, mitad y final del turno de trabajo. Fue importante el trabajo para captar la voz del operador con diferentes niveles de fatiga. A pesar de Además, todos los operadores participantes puntuaron el exoesqueleto con una puntuación superior a ocho en en relación a la satisfacción y uso del equipo, lo que demuestra una buena aceptación en un primer momento. tiempo.

Se observó que, en actividades que requieren apoyo de los miembros superiores, el exoesqueleto se presentó más favorable. En las actividades en las que el operador necesitaba bajar y subir las extremidades superiores varias veces a lo largo del ciclo de trabajo, el exoesqueleto resultó ser desfavorable ya que el operador tiene que ejercer fuerza para bajar el brazo. Por un lado, el exoesqueleto servía de soporte para los brazos y, por otro, él agregó un nuevo requisito muscular. Este es un aspecto que necesita ser perfeccionado en el proyecto de exoesqueletos pasivos para líneas de producción.

La participación de los distintos sectores involucrados en las pruebas *in situ* fue importante para el compromiso y alineación de todos para una posible implementación del exoesqueleto en línea de producción. La ingeniería industrial destacó el impacto del equipo en el tiempo ciclo de manera positiva, ya que no hubo cambios; ingeniería de procesos señaló que no había cambios en el proceso Operacional, a pesar de, haber identificado la necesidad de estudios técnicos relacionados con el mantenimiento de equipo.

La participación y opinión de los operadores, posibles futuros usuarios del exoesqueleto, era esencial tener un análisis de la situación real de trabajo en la línea de producción utilizando el equipo y identificar las necesidades reales, dificultades y posibles ganancias.

Se enfatiza la importancia de profundizar los estudios con otros modelos de exoesqueletos existentes en el mercado, realizar pruebas a más largo plazo y realizar pruebas con electromiógrafo. El fin es verificar el impacto del exoesqueleto en los miembros superiores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SYLLA, N.; BONNET, V.; COLLEDANI, F.; FRAISSE, P. Ergonomic contribution of an exoskeleton in automotive industry. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 44, p. 475-481, 2014.

SPADA, S.; GHIBAUDO, L.; GILOTTA, S.; GASTALDI, L.; CAVATORTA, M. P. Investigation into the applicability of a passive upper-limb exoskeleton in automotive industry. **27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 1255-1262, June, Italy, 2017.

KARVOUNIARI, A.; MICHALOS, G.; DIMITROPOULOS, N.; MAKRIS, S. An approach for exoskeleton integration in manufacturing lines using Virtual Reality techniques. **6th CIRP Global Web Conference, Procedia CIRP**, v. 78, p. 103-108, 2018.

NORDANDER, C.; HANSSON, G.; OHLSSON, K.; ARVIDSSON, I.; BALOGH, I.; STRÖMBERG, U.; RITTNER, R.; SKERFVING, S. Exposure - response relationships for work-related neck and shoulder musculoskeletal disorders - Analyses of pooled uniform data sets. **Applied Ergonomics**, v.55, p. 70-84, 2016.

KIM, S.; NUSSBAUM, M.; ESFAHANI, M. I. M.; ALEMI, M. M.; ALABDULKARIM, S.; RASHEDI, E. Assessing the influence of a passive, upper extremity exoskeletal vest for tasks requiring arm elevation: Part I –“Expected” effects on discomfort, shoulder muscle activity, and work task performance. **Applied Ergonomics**, v. 70, p. 315-322, 2018.

GRIEVE, J. R.; DICKERSON, C. R. Overhead work: Identification of evidence-based exposure guidelines. **Occupational Ergonomics**, v. 8, n. 1, p. 53-66, 2018.

LOOZE, M. P.; BOSCH, T.; KRAUSE, F.; STADLER, K. S.; O’SULLIVAN, L. W. Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. **Ergonomics**, v. 59, n. 5, p. 671-671, 2015.

LO, H. S.; XIE, S. Q. Exoskeleton robots for upper-limb rehabilitation: state of the art and future prospects. **Medical Engineering & Physics**, v. 34, n. 3, p. 261-268, 2012.

LEE, H.; WANSON, K.; HAN, J.; CHANGSOO, H. The technical trend of the exoskeleton robot system for human power assistance. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**, v. 12, n. 8, p. 1491-1497, 2012.

KIRWAN, B., AINSWORTH, L.K. **A Guide to Task Analysis**. Taylor & Francis, London, 1992.

JONASSEN, D. H., TESSMER, M., HANNUM, W. H. **Task Analysis Methods for Instructional Design**, Routledge, 1999.