

Dispositivo ergonómico para el mantenimiento y reparación de herramientas instrumentales ILI

Fernanda Maradei^a, Javier Martínez^a y Diana Buenahora^a

DOI: 10.12961/apr.2018.21.04.2

Recibido: 22 de mayo de 2018

Aceptado: 20 de julio de 2018



RESUMEN

Objetivo: Realizar un análisis ergonómico comparativo de un nuevo dispositivo diseñado (MSILT) con el Banco MTN actual.

Métodos: Por medio de OWAS se evaluaron las tareas con mayor riesgo, luego se realizó la simulación digital humana en un entorno virtual y se evaluaron los esfuerzos y la carga estática articular. Asimismo, se realizó un análisis comparativo utilizando el software Jack de Siemens.

Resultados: Se obtuvo una reducción a la exposición de riesgos de carga física, se pasó de posturas que pueden tener efectos dañinos sobre el sistema musculoesquelético (categoría 4) a posturas neutras (categoría 1). También se redujo la carga estática en las articulaciones y la carga intradiscal por debajo del valor límite de 3400 N según la National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).

Conclusiones: El estudio establece que la propuesta de diseño del dispositivo (MSILIT) es viable y puede ser implementada en aquellas empresas del sector de hidrocarburos.

PALABRAS CLAVES: Riesgo físico, carga intradiscal, PIG, OWAS, postura forzada, NIOSH, simulación humana.

ERGONOMIC DEVICE FOR THE MAINTENANCE AND REPAIR OF IN-LINE INSPECTION (ILI) TOOLS

ABSTRACT

Objective: We conducted a comparative ergonomic study of a new workplace station (MSILT) and a standard wooden industrial workbench.

Methods: First, we used the OWAS method to evaluate the highest risk tasks. Next, we used human digital simulation in a virtual environment to evaluate stress on low back and joint load. We also performed a comparative analysis using the Siemens Jack software.

Results: There was an overall reduction in exposure to physical loads. Awkward postures decreased from a category 4 (harmful) to category 1 (neutral) risk level. There was also a reduction in static loads on the joints and intradiscal loading to below the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) recommended level of 3400 N.

Conclusion: This study demonstrated the feasibility of the new MSILIT and that it can be implemented in the hydrocarbons industry.

KEY WORDS: Physical risk, posture, intradiscal load, PIG, OWAS, awkward postures, NIOSH, human simulation.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de transporte de hidrocarburos desde los yacimientos hasta los puertos o plantas de refinación han evolucionado con el desarrollo tecnológico a través de los años. El traslado de hidrocarburos se realiza mediante un sistema de transporte por tubería u oleoductos. Estos son sistemas de articulación mediante tubos de acero con diámetros internos que comúnmente oscilan entre los 30 y 120 centímetros, son un medio ágil, rentable y seguro de transportar hidrocarburos por largos tramos de distancia.

Paralelo a las empresas que transportan por ductos sus productos, se ha encontrado que existe una industria de prestación de servicios para la inspección, monitoreo y verificación del estado de las tuberías y ductos. De esta forma, en el sector de inspección de tuberías existen herramientas instrumentadas ILI o PIGS (marranos inteligentes) que permiten la obtención de datos confiables sobre la integridad interna de las tuberías. Estas herramientas, después de culminar su labor de inspección de tuberías en campo, se les realizan mantenimientos correctivos y ajustes necesarios para dejarlas en óptimas condiciones para la siguiente tarea asignada¹.

a. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

Correspondencia:

Fernanda Maradei

Universidad Industrial de Santander, Colombia

Teléfono: 6344000 ext. 1381

E-mail: mafermar@uis.edu.co

Los PIGS tienen un cuerpo generalmente de forma cilíndrica, compuestos por un eje metálico en el cual se fija la instrumentación mecánica y electrónica necesaria para su funcionamiento. Este cuerpo se divide en tres secciones individuales unidas mediante articulaciones universales denominadas cardán, formando así una unidad autónoma (desde el lanzamiento hasta la recepción del mismo) y facilitando el paso del dispositivo por curvaturas agudas que pueda presentar la tubería². El número de cuerpos, entre otras variantes, es modificado por un experto teniendo en cuenta las características de la línea o tubería a la cual se realizará la inspección; como el diámetro, el espesor de paredes y los radios de curvatura de la tubería. Además, para llevar a cabo la inspección² es necesario tener en cuenta el producto que se va a transportar y la distancia estimada que debe recorrer la herramienta ILI en el interior de la tubería.

El mantenimiento y reparación de los PIGS se realiza sobre bancos de madera con estructura metálica. Estas actividades demandan cargas posturales en los técnicos encargados con alto riesgo de demanda física, así como comportamientos inseguros durante la ejecución de las tareas. Las principales desventajas del mobiliario industrial utilizado actualmente en Colombia, es la exposición a esfuerzos por carga estática y dinámica debido a la manipulación de los PIGS (rotar, voltear y mover sobre la mesa); los PIGS tienen una geometría cilíndrica y poseen un peso entre 200 Kg y 300 Kg.

En Colombia, los desórdenes musculoesqueléticos (DME) son la principal causa de morbilidad y continua en aumento; pasando en el 2001 de un 65% de todos los diagnósticos³ a un 90% en el 2012⁴. Las patologías con mayor incremento son las enfermedades de disco intervertebral (aumento del 112%) y del manguito rotador (aumento del 118%)⁴. Se sabe que el tipo de mecanización (herramientas o máquinas) usado por los operarios puede influir en las demandas musculoesqueléticas durante la ejecución de las actividades laborales^{5,7}. Por tanto, las intervenciones ergonómicas deben estar orientadas a proponer mecanizaciones que reduzcan dicha demanda. Lamentablemente, no se encontró en la literatura científica, datos específicos sobre accidentalidad o enfermedades laborales durante las tareas de mantenimiento y reparación de herramientas instrumentadas ILI. Dichos datos permitirían identificar los factores de riesgo en los puestos de trabajo en aras de mejorar las propuestas de diseño de dichos puestos. Por tanto, el proyecto realizó un análisis ergonómico preliminar en situación de trabajo real, para identificar las tareas críticas y los elementos de diseño del puesto de trabajo que generan riesgo en los operarios.

Así, el proyecto posteriormente diseñó un dispositivo que permite mejorar la relación entre el operario, la herramienta instrumentada ILI y el mobiliario industrial, para evitar la adopción de posturas que puedan generar trastornos musculoesqueléticos, manipulación manual de carga que sobrepase los umbrales permitidos y disminución de manipulaciones peligrosas. Con base en lo anterior, el objetivo general de este trabajo es mostrar el análisis ergonómico comparativo del dispositivo diseñado (MSILT) con el Banco MTN actual. Dicha comparación permite evidenciar, una reducción a la exposición de riesgos por carga física, durante la ejecución de las actividades diarias de los operarios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Variable del estudio

A partir del objetivo se propuso un estudio con un arreglo de un factor, cuya hipótesis fue: la realización de la actividad de mantenimiento con el dispositivo diseñado (Factor A), mitiga el nivel de riesgo de postura (Y1) y de la carga en espalda baja (Y2) en comparación con el banco MTN actual.

El factor A tiene dos tratamientos que corresponden a (ver figura 1):

- El banco MTN actual (Banco de Mantenimiento) utilizado para la actividad de mantenimiento de las herramientas instrumentadas ILI o PIGS. Está compuesto por una mesa de propósito general de configuración en "L" (300 x 100 cms.), fabricada en perfiles metálicos con recubrimiento en pintura electrostática, con un área de trabajo de altura fija (80 cms.) y cubierta por un polímero texturizado. El banco permite el soporte para el trabajo activo en las herramientas ILI (C10-1. XD, C12-1XN y CDP14) y como almacenaje de partes que se usarán en otras tareas.
- El diseño propuesto, denominado MSILIT (Maintenance Station for ILI Tools), la cual es una estación de trabajo formada por sub-módulos (subestaciones), que mediante el ajuste de sus apoyos permite la adaptación de ésta a las dimensiones de otras herramientas instrumentadas ILI (10, 12 y 14 in), con un plano de trabajo ajustable en altura (60 a 110 cms.) y en rotación (360°). Por otra parte, posee un sistema de almacenamiento abatible que permite la organización y ubicación rápida de herramientas frecuentes para evitar desórdenes en el área y pérdidas de tiempo en la búsqueda de elementos de trabajo. Por último, tiene un sistema de movilización que permite la rápida reubicación a otro lugar cuando no está en uso.

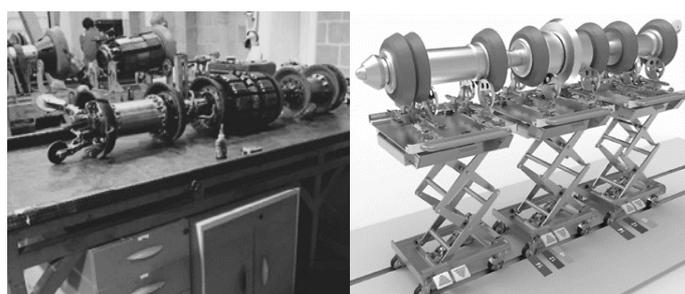


Figura 1. Comparación entre el banco utilizado actualmente (izquierda) y el dispositivo diseñado MSILIT (derecha), para el mantenimiento de las herramientas instrumentales ILI.

La variable dependiente (Y1) fue medida por medio de la herramienta OWAS⁸ que permite una valoración de carga física derivada de las posturas adoptadas en el trabajo, por medio de la observación registrada en video. Para este estudio se realizó una toma de datos cada 8 segundos por el periodo total en que el técnico realizó todas las tareas de cada mantenimiento analizado (ver Ecuación 1).

$$\text{No. Observaciones} = \frac{\text{tiempo observación (seg)}}{8 \text{ (seg)}}$$

La segunda variable dependiente (Y2) fue estudiada por medio de la herramienta Lower Back Analysis y Static Strength Prediction, ambos del software simulación virtual Jack de Siemens⁹. Para el primer caso, la herramienta se basa en la ecuación de NIOSH¹⁰ utilizada en tareas que requieren levantamiento de carga y permite calcular las fuerzas de compresión de la región lumbo sacra. NIOSH considera un límite admisible de 3400 N para evitar un posible riesgo de enfermedad en la espalda baja. En el caso de la herramienta static strength prediction, permite identificar las articulaciones sometidas a fuerzas estáticas durante la ejecución de las tareas¹¹.

Procedimiento

a. Identificación de las tareas a analizar en la situación de trabajo actual. Para este caso se analizaron las actividades de mantenimiento que se realizan a las herramientas ILI y se identificaron 8 de ellas. Teniendo en cuenta que el estudio se centró en las actividades que requieran manipulación directa con la herramienta ILI, se descartó cualquier proceso que no fuera realizado sobre el banco de mantenimiento actual; por tanto se escogieron las actividades de mantenimiento de Copa, Cardan, Cepillos, Magnetos, Odómetro, Gyro, Baterías y Sensores.

b. Evaluación de la carga postural, tuvo como fin evaluar la exposición del operario a posturas del alto riesgo. Primero se realizó un análisis observacional de tipo cualitativo a partir de determinantes de actividad¹² y luego por medio del método de valoración OWAS se estableció el grado de penosidad⁸. Para la aplicación del método se procedió como primera medida a la documentación de los procesos de mantenimiento que son ejecutados sobre el banco de trabajo actual. Teniendo en cuenta que los procesos de mantenimiento de las herramientas ILI son los mismos para todas, se consideró realizar la observación y evaluación de la carga postural solo para la herramienta ILI C12-1.XN. Las tareas fueron grabadas en vídeo y para su análisis se utilizó el software libre KINOVEA¹³ que permitió la fragmentación de dicho video en fotos fijas cada 8 segundos (cada foto corresponde a una observación analizada en este estudio) y la posterior medición de los ángulos posturales de tronco, extremidades superiores e inferiores. Los resultados se obtuvieron con una variable cualitativa; porcentaje de frecuencia de posturas adoptadas y discriminadas según el nivel de riesgo de OWAS, lo anterior debido a que el tiempo total para realizar el proceso de mantenimiento depende de cada actividad (Copa, Cardan, Cepillos, Magnetos, Odómetro, Gyro, Baterías y Sensores) por tanto dichos tiempos de ejecución son diferentes en cada una de ellas.

c. Evaluación de los esfuerzos. los comportamientos posturales observados y grabados en video fueron replicados en un software de simulación virtual humana en 3D (Jack de Siemens⁹). Primero se compararon los resultados posturales obtenidos por OWAS en el ambiente real con datos posturales obtenidos por OWAS en el ambiente simulado, asegurando que la postura encontrada en la realidad se conservaba correctamente (Figura 2). Luego esta postura simulada permitió el análisis con las herramientas Lower Back Analysis y Static Strength Prediction.

d. Por último se realizó un análisis comparativo entre los resultados obtenidos de la simulación digital humana en un entorno virtual 3D del banco MTN actual, con el dispositivo propuesto (MSILT), utilizando el software Jack de Siemens. Analizando de esta manera la viabilidad de las mejoras ergonómicas implementadas.

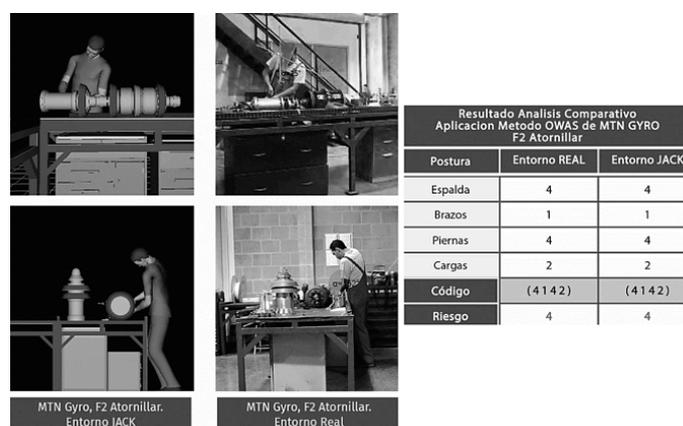


Figura 2. Comparación de la postura entre el entorno real y el simulado. Ejemplo: mantenimiento MTN Gyro.

RESULTADOS

Evaluación postural con el Banco MTN actual por medio de OWAS

El análisis postural en términos generales muestra que (Figura 3), el mantenimiento con el mayor porcentaje de posturas en categoría 4 es el MTN Gyro (40.96%), seguido por el MTN de Cardan (40.54%) y el de MTN Copas (40.24%). Con base en esto, se analizaron solo los mantenimientos con mayor riesgo para los operarios durante la ejecución de las tareas.

- El mantenimiento Gyro consiste en la instalación de un dispositivo denominado “Gyro”, el cual permite medir la velocidad angular (rad/s) y mantenerla constante durante la inspección que la herramienta instrumentada ILI (PIG) realiza en el interior del ducto. Para este mantenimiento se realizaron 437 observaciones en OWAS, encontrando que el 67.5% de estas se encuentran en categoría 3 y 4 (Figura 4). Entre las posturas encontradas para la realización de esta actividad están: flexión, desviación lateral y rotación del tronco, flexión y desviación lateral del cuello, brazos en abducción y fuerzas de arrastre y empuje para mover, rotar o girar el PIG sobre la superficie de trabajo (ver figura 4).

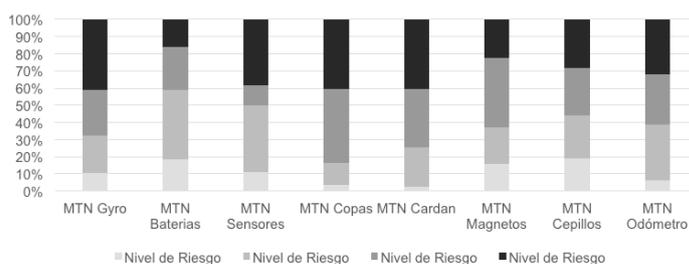


Figura 3. Comparación entre los tipos de mantenimientos en función del nivel de riesgo.

- El mantenimiento MTN Cardan consiste en la instalación de una articulación mecánica de seis grados de libertad denominado cardan, el cual permite unir los cuerpos de la herramienta instrumentada ILI. Para este mantenimiento se realizaron 111 observaciones a partir del cual se pudo determinar que el 74.77% de las posturas asumidas por los operarios durante la ejecución de esta actividad, están en las categorías de nivel de riesgo 3 y 4 según OWAS (Figura 4). Se observó posturas con tronco flexionado, desviado lateralmente y rotado, cabeza con desviación lateral y rotada y posturas de pie con piernas flexionadas y arrodillado (Figura 4).

- El mantenimiento MTN Copas consiste en la instalación de copas en cada uno de los cuerpos de la herramienta instrumentada ILI (PIG), cuya función es realizar un sello hermético en el interior del ducto y así generar la presión necesaria para el desplazamiento del PIG y mantenerlo centrado en el interior del ducto o tubería. Para este mantenimiento se realizaron 251 observaciones que permiten evidenciar que el 83.67% de las posturas encontradas, se encuentran en las categorías 3 y 4 (ver figura 4). Las posturas encontradas para esta actividad fueron: flexión y desviaciones laterales del tronco con cabeza flexionada, asimismo se presentan fuerzas de empuje que permiten mover, rotar o girar el PIG (figura 4).

Por último, el análisis observacional cualitativo del banco MTN actual, a partir de determinantes de la actividad, permitió identificar que algunos de los elementos causales de las cargas y de las posturas observadas durante la actividad de mantenimiento son: a) una altura del plano de trabajo baja (80 cms.) para las tareas que requieren precisión, b) dificultad para tener visible todos los elementos que conforman la herramienta ILI, mientras se realiza la tarea, c) la manipulación del PIG que requiere fuerza muscular, como rotar, girar y mover sobre la mesa cuando éste pesa entre 100 y 300 Kg, y d) un plano de trabajo inseguro debido a que no existe ningún sistema que mantenga fijo el PIG mientras se realiza la tarea, por tanto éste puede rotar o caer del banco MTN.

Evaluación de Esfuerzo en Espalda Baja y Articulaciones en el Banco MTN actual

Los resultados de las cargas internas por compresión de espalda baja, muestran valores superiores a 3400 N por encima del límite de carga permisible según NIOSH. La mayor exposición al riesgo se presenta en el mantenimiento de Cardan seguido del MTN Copas, es decir que en estas actividades existe una gran posibilidad de desarrollar patologías o lesiones en la zona lumbar. Asimismo, acorde a los resultados obtenidos por el análisis de determinantes de la actividad, mostrados en el punto anterior,

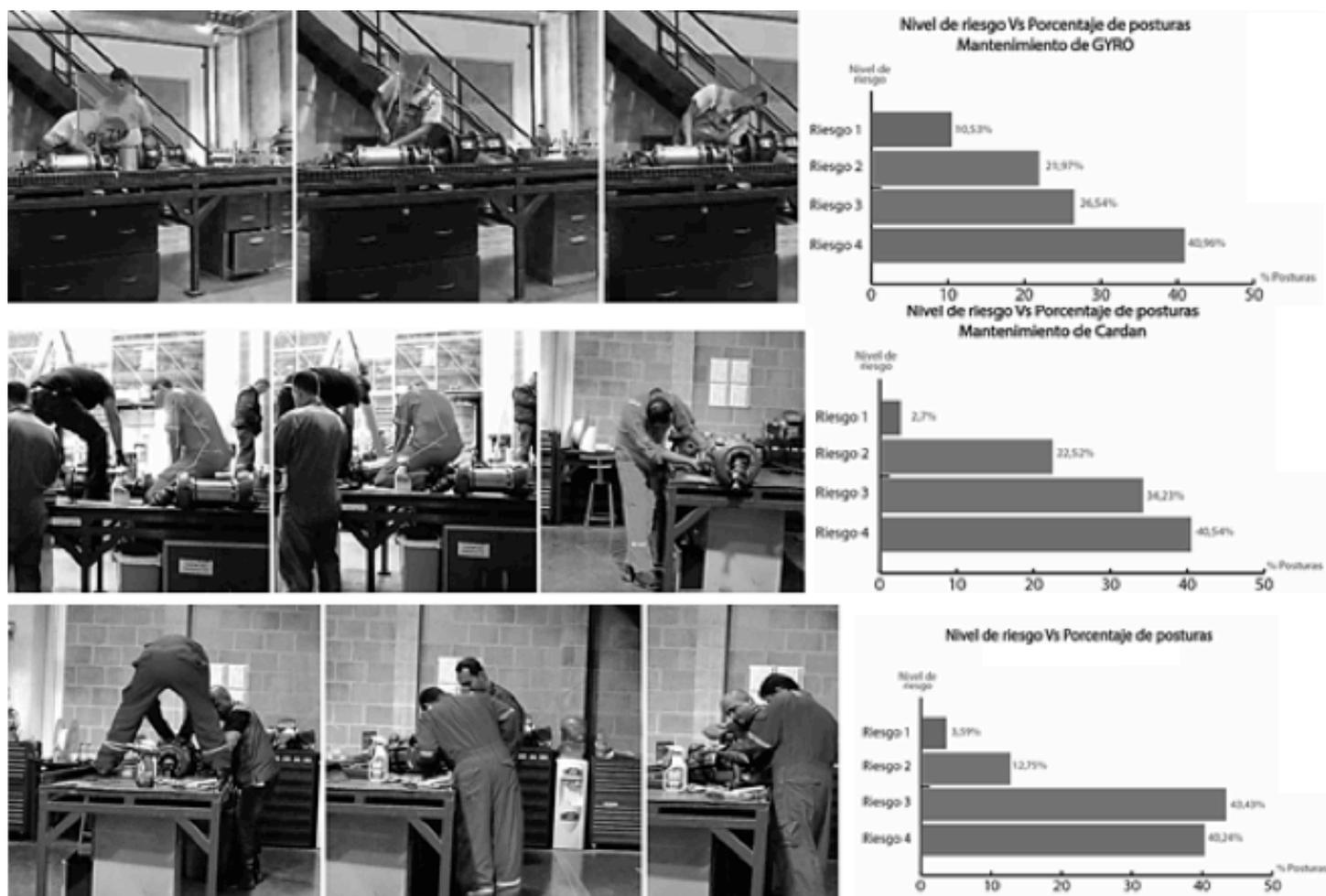


Figura 4. Nivel de riesgo postural en función de los mantenimientos MTN Gyro, Cardan y Copas.

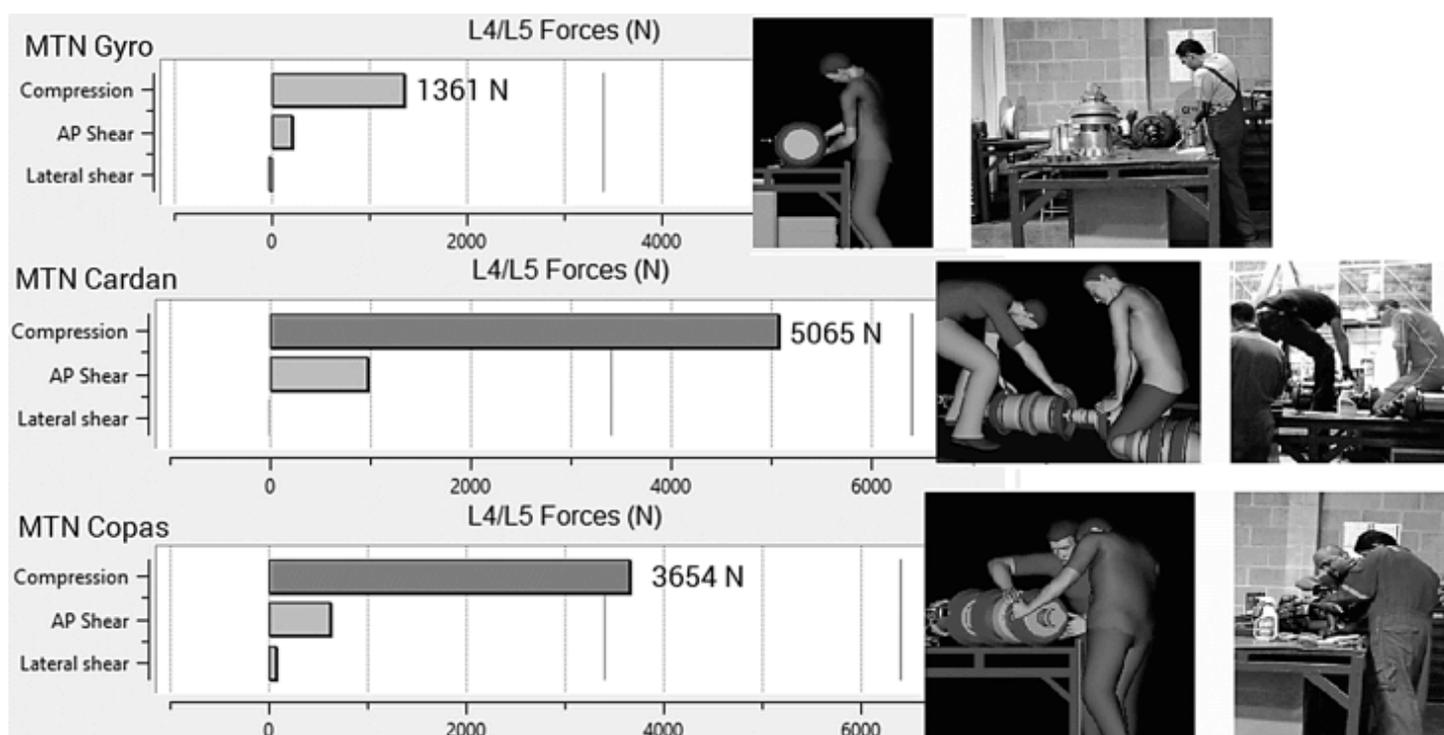


Figura 5. Comparación entre la carga intradiscal en espalda baja y el tipo de mantenimiento realizado.

el incremento del riesgo se debe a la manipulación de los PIGS (rotar, girar y mover sobre la mesa) que pesa entre 100 y 300 Kg en planos de trabajo con alturas bajas, los cuales conducen al operario a realizar las tareas con posturas no neutras (Figura 5).

Análisis Comparativo de la Actividad de mantenimiento, entre el Banco MTN Actual y el Dispositivo Diseñado

En primera instancia, como se muestra en la Figura 2, cada observación real fue simulada virtualmente, garantizando que la postura en la observación simulada fuera similar a la real. La Figura 6 muestra la comparación de dichas actividades realizadas en el banco MTN actual con el diseño de MSILIT diseñado, en un entorno virtual simulado por el software Jack de Siemens.

En términos generales se observa una reducción a la categoría de nivel de riesgo 1, en todos los mantenimientos analizados. En cuanto al balance de riesgo de espalda baja se encontró un nivel medio-bajo y en la carga articular disminuyó; se observa en términos generales una reducción en el número de articulaciones afectadas, los resultados muestran que las articulaciones de la muñeca y cadera siguen siendo importantes y a considerar.

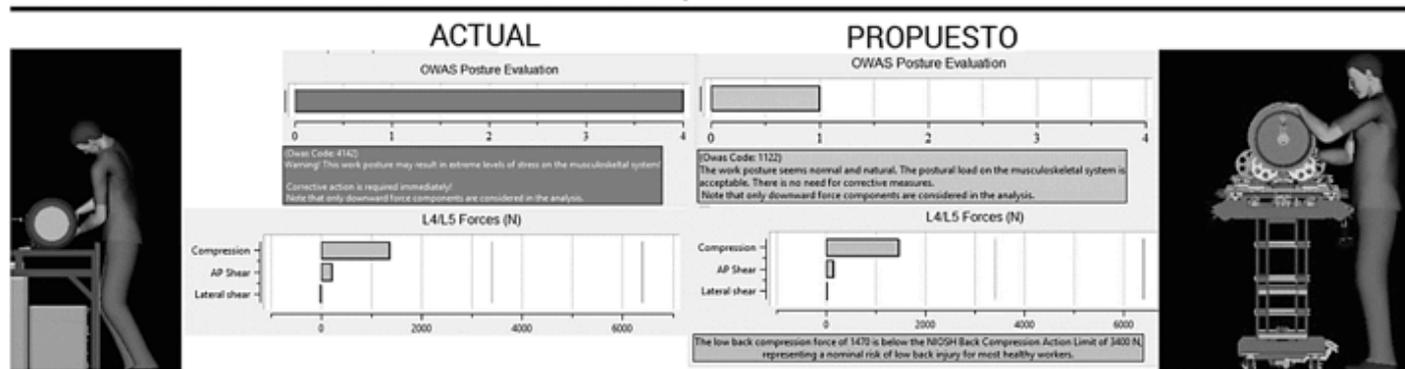
Para el caso del mantenimiento MTN Gyro se observa que la carga postural pasó de categoría 4 a categoría 1 (ver figura 6). Para el MTN Cardan la compresión de los discos en espalda baja disminuyó (1442 N), encontrándose por debajo de los 3400 N, asimismo la categoría de nivel de riesgo bajó a 1. Para el MTN Copas, también se encontró una disminución de la compresión intradiscal (1459 N) por debajo del límite máximo permisible según NIOSH (3400 N), es decir se mitiga la exposición al riesgo por carga física.

DISCUSIÓN

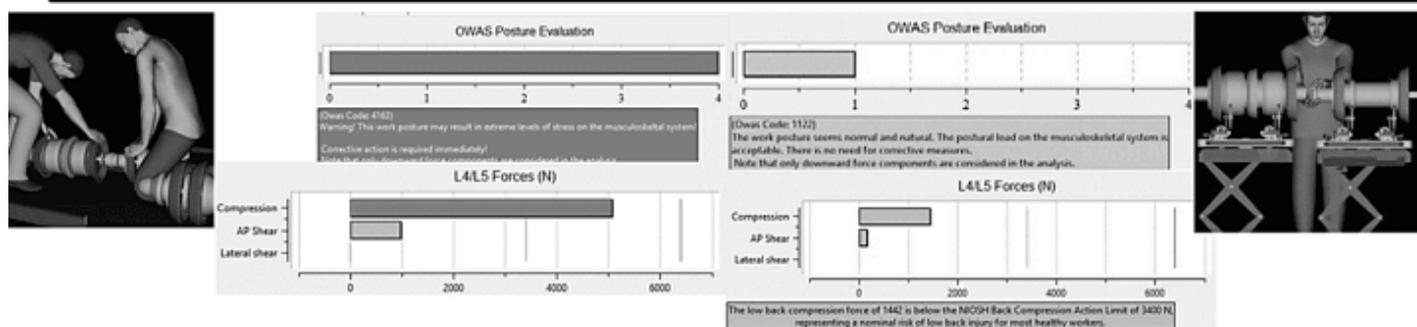
Este estudio tenía como propósito realizar un análisis ergonómico del nuevo dispositivo MSILIT diseñado para realizar las actividades de mantenimiento y reparación de PIGS, donde los trabajadores tuvieran una baja exposición al riesgo por carga física. Así, tomando en consideración los aspectos negativos obtenidos de los análisis ergonómicos de la situación real de mantenimiento, en el Banco MTN actual, se diseñó virtualmente un nuevo dispositivo. Los hallazgos obtenidos del estudio, al comparar ambas situaciones de trabajo, muestran que las transformaciones realizadas en esta actividad permiten una reducción a la exposición al riesgo por carga física. Dichas transformaciones se concretan en el diseño del dispositivo MSILIT que permite realizar las tareas de mantenimiento y reparación de las herramientas instrumentadas ILI o PIGS; durante el trabajo sobre el dispositivo MSILIT se conservan las posturas neutras y se reduce la manipulación de los mismos PIGS.

El estudio mostró que la situación de trabajo sobre el Banco MTN actual, presenta posturas forzadas con un alto grado de nivel de riesgo (nivel categoría 4). Se sabe que las posturas mantenidas y forzadas, son factores de riesgo para la aparición de patologías en extremidades superiores y espalda baja^{14, 15}, asimismo los análisis biomecánicos también muestran que en este tipo de posturas se presentan altas cargas sobre las articulaciones, debido a las tensiones internas de los músculos que buscan la estabilidad mecánica del sistema^{16, 18}. Por último la literatura también muestra que la toma de información influye en las demandas de control postural^{19, 20}. Por tanto acorde a esto, los datos obtenidos de categoría 4 y la carga en las articulaciones, sugieren un comportamiento postural penoso resultado de la actividad que se está realizando; se evidencia en el análisis por determinantes la dificultad para visualizar todos los indicadores de la herramienta ILI que permitan tareas de posicionamiento, ajuste, limpieza o control, entre otras, también se observa alturas de planos inadecuadas que exigen realizar el trabajo a nivel de piso (sobre

MTN Gyro



MTN Cardan



MTN Copas

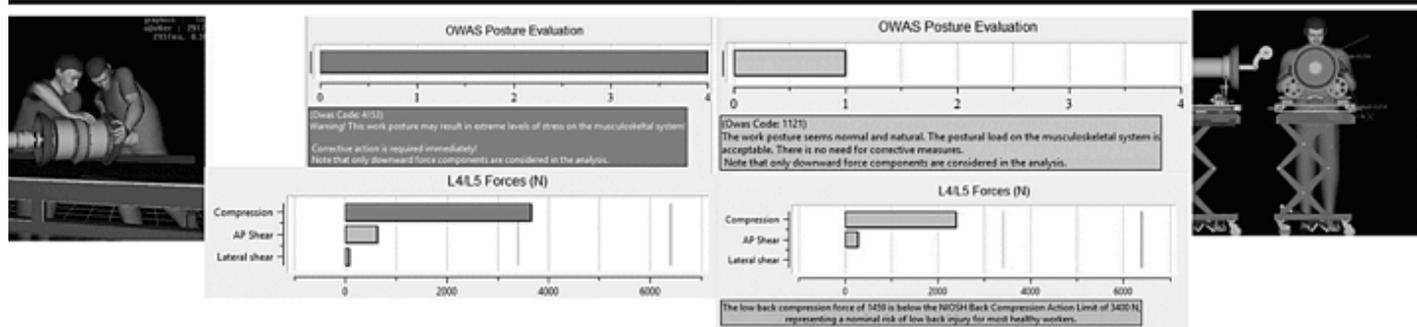


Figura 6. Comparativo de la evaluación ergonómica realizada en entornos virtuales, entre el banco MTN actual y el dispositivo MSILIT diseñado.

el Banco MTN) o a bajas alturas. Todos estos factores podrían influir en las posturas incómodas del trabajador, traducido en posturas mantenidas y forzadas que explica los datos obtenidos por este estudio.

Por otra parte, también se encontró compresiones intradiscuales superiores a los límites permisibles por NIOSH que es de 3400 N^{10,21}, lo que sugiere la posibilidad de desarrollar patologías o lesiones en la región lumbar. La literatura muestra que para el riesgo de desórdenes de espalda baja, la frecuencia de los levantamientos, la carga y la postura del tronco son factores asociados al puesto de trabajo²², es decir que tanto la carga como la postura son elementos que influyen en éste tipo de desórdenes^{14,15} y deben tenerse en cuenta para cualquier tipo de análisis ergonómico que involucre levantamiento o manipulación de carga. Por tanto, las posturas penosas encontradas en la actividad realizada sobre el Banco MTN actual, unido con las manipulaciones de las he-

rramientas ILI explican los datos obtenidos de carga intradiscal y están asociados con el puesto de trabajo. Asimismo las cargas intradiscuales obtenidas por el simulador virtual, son acordes a los estudios realizados en participantes vivos en posturas de pie sin carga²³ o con modelos biomecánicos estáticos¹¹.

Por otro lado, aunque no se encontró estudios ergonómicos de manejo de carga en el mantenimiento de herramientas ILI, si existe otras actividades ampliamente estudiadas con características similares. En la manipulación de pacientes en el sector hospitalario, por ejemplo, se eviencian fuerzas de compresión en la zona lumbar entre 3.5 KN y 5.6 KN²⁴, debido a los sobreesfuerzos que requieren los enfermeros para mover o trasladar a los pacientes^{25,26}, asimismo los estudios muestran la presencia de posturas forzadas que incrementan la posibilidad de sufrir lesiones²⁴. No obstante, es necesario que las investigaciones futuras realicen más estudios ergonómicos relacionados con actividades de mantenimiento de PIGS, en el sector de hidrocarburos.

Con relación al análisis ergonómico del diseño del dispositivo MSILIT, la comparación de los resultados obtenidos de la evaluación postural muestra que se pasó de un nivel de peno-

sidad de riesgo máximo (categoría 4) a un nivel sin riesgo para la salud (categoría 1), debido a que con el MSILIT el trabajador mantiene una postura neutral durante la ejecución de las tareas. El problema de falta de visibilidad para la toma de información no se presenta en el nuevo dispositivo ya que éste permite la rotación constante del PIG. En el caso del riesgo de carga, el balance para espalda baja muestra que se pasó de un nivel de riesgo alto a un nivel bajo; la compresión intradiscal no supera el límite permisible de 3400 N en ninguna de las tareas analizadas, esto debido a que además de mantener una postura neutral del tronco se eliminó la manipulación constante con la herramienta ILI, debido a que el dispositivo MSILIT permite el ajuste tanto de altura como en rotación. Por último, en lo referente a la carga estática, se obtuvo una reducción en el número de articulaciones afectadas y en el nivel de riesgo de las mismas.

Por último, los datos analizados en este estudio son obtenidos de modelos virtuales de simulación humana que representan situaciones laborales estáticas. La representación digital facilita la predicción del comportamiento postural y del desempeño humano²⁷, por tanto la implementación reduce la posibilidad de errores en el diseño en un 90%²⁸. Sin embargo, el estudio no contempla los factores organizacionales y ambientales que pueden afectar la actividad laboral y en consecuencia los comportamientos humanos para la realización correcta de la tarea, aspectos importantes en cualquier estudio ergonómico. En este sentido el estudio recomienda que las investigaciones futuras, realicen estudios en situaciones reales con el dispositivo diseñado (MSILIT).

CONCLUSIÓN

La comparación de los resultados obtenidos en el Banco MTN actual muestra una reducción en la exposición a los riesgos posturales y de carga, permitiendo de esta forma establecer que la propuesta de diseño del dispositivo (MSILIT) es viable. De esta forma, puede ser implementada en aquellas empresas que realizan el transporte de hidrocarburos y que requieren operaciones de mantenimiento de instrumentos ILI.

El dispositivo MSILIT fue diseñado para ofrecer una estación de trabajo conformada por sub-módulos (subestaciones), que mediante el ajuste de sus apoyos permite la adaptación de esta a las dimensiones de otras herramientas instrumentadas ILI (10, 12 y 14 in), contiene también un plano de trabajo ajustable en altura (60 a 110 cms.) y en rotación (360°). Facilitando con esto la ejecución de las manipulaciones que debe realizar el operario a la herramienta ILI para acceder a sus distintas partes.

REFERENCIAS

1. Pipelines International [página principal en Internet]. Australia: The magazine Integrity & Maintenance, Products & Service [actualizado 2 Dic 2011; citado 20 Oct 2017]. Disponible en: <https://www.pipelinesinternational.com/2011/12/02/the-origin-of-intelligent-pigs/>.
2. A. Suárez, "Prototipo PIG intelligent," graduate, Departamento de ingeniería eléctrica y electrónica, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, 1206, 2003.
3. Informe de enfermedades profesionales en Colombia 2003- 2005. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia; 2007.
4. Informe ejecutivo II encuesta nacional de condiciones de seguridad y salud en el trabajo en el sistema general de riesgos. Bogotá: Grafiq Editores; 2013.
5. Costa B, Vieira E, Risk factors for work-related musculoskeletal disorders: a systematic review of recent longitudinal studies. *American Journal of Industrial Medicine*. 2010; 53:285-323.
6. Bernhard B et al. A critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back. *Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors*. Cincinnati: US Department of Health and Human Service (NIOSH) Publication No. 97B141; 1997.
7. Grzywacz J, et al. Work organization and musculoskeletal health: Clinical findings from immigrant Latino poultry processing and other manual workers. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2012; 54: 995-1001.
8. Karhu O, Härkönen R, Sorvali P, Vepsäläinen P. Observing working postures in industry: Examples of OWAS application. *Applied Ergonomics*. 1981; 12: 13-17.
9. Siemens [página principal en Internet]. Estados Unidos: Jack and Process Simulate Human [actualizado 5 Ag 2017; citado 27 Oct 2017]. Disponible en: <https://www.plm.automation.siemens.com/es/products/tecnomatix/manufacturing-simulation/human-ergonomics/jack.shtml>.
10. Waters T, Putz-Anderson V, Garg A, Fine L. Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics*. 1993; 36: 749-776.
11. Chaffin D, Andersson G, Martin B. *Occupational Biomechanics*. New York: J. Wiley & Sons; 2006.
12. Rabardel P, Carlin N, Chesnais M, Lang N, Le Joliff G, Pascal M. *Ergonomie, concepts et méthodes*. Paris:Octares; 1998.
13. Kinovea [página principal en Internet]. France: A microscope for your videos [actualizado 21 Jul 2018; citado 23 Oct 2017]. Disponible en: <https://www.kinovea.org/>.
14. Punnett L, Wegman D. Work-related musculoskeletal disorders: the epidemiologic evidence and the debate. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2004; 14:13-23.
15. Cholewicki J, McGill S. Mechanical stability of the in vivo lumbar spine: implications for injury and chronic low back pain. *Clinical Biomechanics*. 1996; 11: 1-15.
16. Marras W. The future of research in understanding and controlling work-related low back disorders. *Ergonomics*. 2005; 48: 464-477.
17. Park S, Horak F, Kuo A. Postural feedback responses scale with biomechanical constraints in human standing. *Experimental Brain Research*. 2004; 154: 417-427.
18. De Lima A, De Azevedo R, Teixeira L. On the functional integration between postural and supra-postural tasks on the basis of contextual cues and task constraint. *Gait & Posture*. 2010; 32: 615-618.
19. McNevin N, Wulf G. Attentional focus on supra-postural tasks affects postural control. *Human Movement Science*. 2002; 21:187-202.
20. Arjmand N, Amini M, Shirazi-Adl A, Plamondon A, Parnianpour M. Revised NIOSH Lifting Equation May generate spine loads exceeding recommended limits. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2015; 47:1-8.
21. Marras W et al., The Role of Dynamic Three-Dimensional Trunk Motion in Occupationally-Related Low Back Disorders: The Effects of Workplace Factors, Trunk Position, and Trunk Motion Characteristics on Risk of Injury. *Spine*. 1993; 18: 617-628.
22. Wilke H, Neef P, Caimi M, Hoogland T, Claes L. New In Vivo Measurements of Pressures in the Intervertebral Disc in Daily Life. *Spine*. 1999; 24: 755-762.
23. Gutiérrez Henríquez M, Flores Rivera C, Monzó Eyzaguirre J. Prevalencia de Trastornos Músculo- esqueléticos en Funcionarios de Centros Hospitalarios que Realizan Manejo de Pacientes y Caracterización de Potenciales Factores de Riesgo. *Ciencia & Trabajo*. 2010; 12: 447- 453.
24. Puig M, France E, Martín A, Castells C. Los Accidentes Laborales en el Equipo de Enfermería de un Hospital de Tercer Nivel. *Archivos de Prevención de Riesgos Laborales*. 2002; 5: 102-110.
25. Gutiérrez J, Jiménez M, Escalera L. Intervenciones Eficaces para Reducir el Absentismo del Personal de Enfermería Hospitalario. *Gaceta Sanitaria*. 2013; 27: 545-551.
26. Naumann A, Roeting M. Digital Human Modeling for Design and Evaluation of Human- machine Systems. *MMI-Interaktiv*. 2007; 12: 27-35.
27. Polásek P, Bures M, Simon M. Comparison of Digital Tools for Ergonomics Practice. *Procedia Engineering*. 2015; 100: 1277- 1285.