

# ANÁLISIS DE MÉTODOS DE VALORACIÓN POSTURAL EN LAS HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN VIRTUAL PARA LA INGENIERÍA DE FABRICACIÓN

## ANALYSIS OF POSTURAL ASSESSMENT METHODS AND VIRTUAL SIMULATION TOOLS INTO MANUFACTURING ENGINEERING

MANUEL GARCÍA-GARCÍA

*PhD. Profesor Ayudante, Universidad Nacional de Educación a Distancia, España, mggarcia@ind.uned.es*

ALBERTO SÁNCHEZ-LITE

*PhD. Profesor Contratado Doctor, Universidad de Valladolid, España, asanchez@eii.uva.es*

ANA MARIA CAMACHO

*PhD. Profesora Contratada D., Universidad Nacional de Educación a Distancia, España, amcamacho@ind.uned.es*

ROSARIO DOMINGO

*PhD. Profesora Titular, Universidad Nacional de Educación a Distancia, España, rdomingo@ind.uned.es*

Recibido para revisar Agosto 30 de 2012, aceptado Abril 23 de 2013, versión final Mayo 2 de 2013

**RESUMEN:** La integración de los principios ergonómicos en el diseño de los procesos propios de la ingeniería de fabricación es una práctica cada vez más habitual en las empresas. En este sentido, las lesiones músculo-esqueléticas tiene una repercusión muy importante en el puesto de trabajo. La evaluación y medición de los factores de riesgo para este tipo de lesiones es un paso importante para conseguir un puesto de trabajo de excelencia. Este trabajo expone los métodos de evaluación postural más utilizados, y la aplicación de los métodos “Rapid Upper Limb Assessment” (RULA) y “Rapid Entire Body Assessment” (REBA) en una empresa del sector metal para evaluación y mejora de un puesto de trabajo, utilizando herramienta de simulación virtual 3D. Los métodos han sido integrados vía programación externa. Este trabajo tiene como objetivos mostrar las ventajas de utilizar estas herramientas, así como de implementar un método de observación adecuado en dicho entorno.

**PALABRAS CLAVE:** ingeniería de fabricación; método de valoración postural; RULA; REBA; ergonomía; simulación virtual.

**ABSTRACT:** The ergonomic principles integration into manufacturing engineering processes design and development is becoming a common practice in companies. In this regard muscle-skeletal injuries have an important impact in workplaces. The evaluation and measurement of risk factors is an important step towards workplace Excellency. In this work they are described the evaluation methods most commonly used, and it is showed the application of RULA “Rapid Upper Limb Assessment” and REBA “Rapid Entire Body Assessment” methods in a metal sector company with the help of virtual simulation tool in which are integrated both methods via external programming. The entire production process is evaluated and improvements suggested in order to eliminate those ergonomic risks and to improve the production system. It is the objective of this paper to show the advantages of using these tools, as well as to implement an adequate observation method in this field.

**KEYWORDS:** manufacturing engineering; postural assessment method; RULA; REBA; ergonomic, virtual simulation.

### 1. INTRODUCCIÓN

La medida adecuada de los factores de riesgo ergonómico que existen en los puestos de trabajo de montaje manual, como primera herramienta encaminada hacia la prevención de riesgos laborales, la eliminación de las lesiones músculo-esqueléticas y

de otras enfermedades profesionales, puede permitir la reducción del absentismo laboral y evitar la pérdida de productividad y competitividad.

A diferencia de otras lesiones relacionadas con el desempeño profesional, los trastornos músculo-esqueléticos no tienen su origen en un solo factor de

riesgo, sino que se trata de un fenómeno de origen multifactorial, en el que incluyen factores físicos, psicosociales e individuales [1-5]. En cualquier caso, es evidente que el uso de un método adecuado para la fase de conceptualización de producto-proceso que consiga una buena exactitud en la medida de esos factores de riesgo, es de vital importancia para poder evaluarlas y predecir la posible aparición de estas lesiones.

Este trabajo pretende dar una visión global sobre los métodos ergonómicos y herramientas más utilizadas para el análisis y evaluación de las posturas que los operarios realizan en los puestos de trabajo con operaciones de montaje manual. Se centran los métodos de observación dentro de un entorno de simulación 3D del puesto de trabajo como herramientas de diseño y medio de prevención de riesgos laborales. Se muestran los métodos de observación más utilizados, ampliando el uso de una de las herramientas 3D más utilizadas con la programación externa del método REBA. El trabajo muestra su utilidad en la evaluación y mejora de un puesto de trabajo real.

## **2. MÉTODOS DE VALORACIÓN POSTURAL Y HERRAMIENTAS ERGONOMICAS DE SIMULACION VIRTUAL 3D**

Diversos autores han realizado distintas clasificaciones de los métodos de valoración postural existentes [6-10]. Atendiendo a la forma de obtener los datos para la evaluación del riesgo, se pueden dividir en dos grandes grupos: métodos indirectos y directos. Los métodos indirectos evalúan la exposición del riesgo mediante valoraciones subjetivas del individuo, técnicas de observación, o sistemas capaces de predecir la valoración que un experto daría. Por otro lado, los métodos directos evalúan el riesgo mediante la medida directa de los factores de riesgo-

### **2.1. Métodos de autovaloración**

La autoevaluación por parte de los operarios puede utilizarse para recabar datos en el puesto de trabajo sobre la exposición de riesgos de factores físicos y psicosociales. Se utilizan entrevistas y cuestionarios. La información recabada contiene variables demográficas, sintomatología, dolor, posturas incómodas y niveles subjetivos de empleo de fuerza, entre otras.

Estos métodos recaban datos directamente de las personas que realizan la tarea, son aplicables a un amplio rango de situaciones de trabajo, y a priori de bajo coste. No obstante, si se quiere asegurar la validez de las conclusiones es necesario un tamaño de población estudiada elevada, así como un conocimiento adecuado para el manejo de los datos, con lo que el coste podría ser mayor de lo esperado. El mayor problema es que el operario puede ser impreciso y dar datos que no reflejan la realidad [11]. En cualquier caso, con este tipo de métodos la identificación del riesgo y su valoración no es clara y su validación y fiabilidad no son muy altas [12].

### **2.2. Métodos de observación**

Los métodos de observación se basan en el estudio de guías de observación y permiten obtener conclusiones sobre la presencia y/o el nivel del riesgo. En general son más adecuados para posturas mantenidas y trabajos repetitivos. Estos métodos presentan ventajas de tipo económico, ya que no requieren conocimientos previos y se pueden usar en diferentes ambientes de trabajo sin interrumpir las tareas del operario. Por otro lado, entre sus inconvenientes cabe citar su falta de precisión, así como la gran variabilidad y subjetividad en la observación al aplicarlos.

La literatura presenta una gran cantidad de métodos que sistemáticamente evalúan los factores de riesgo del puesto de trabajo. El número de factores de riesgo evaluados difiere según los métodos. Algunos de ellos solamente contemplan valoraciones posturales de distintos segmentos del cuerpo, mientras que otros valoran además otros factores físicos de exposición. De entre los métodos de observación más conocidos y usados destacan: el método RULA [13], el Priel [14], el desarrollado por Corlett et al. [15], el implementado por Gil y Tunes [16], el método PLIBEL [17], “Hand-Arm-Movement-Analysis” (HAMA) [18], “Quick Exposure Check for work-related musculoskeletal risks” (QEC) [19], “Outil de Repérage et d’Evaluation des Gestes” (OREGE) [20], el método desarrollado por Moore y Grag [21] y la adaptación propuesta por Freivalds [22], el “Cumulative Trauma Disorder Risk” (CTD) [23], el método “Occupational Repetitive Actions (OCRA) [24], el método Loading on the Upper Body Assessment (LUBA) [25], el de análisis de manejo carga NIOSH [26], el de análisis de carga Liberty Mutual [27], el 3D

Static Strength Prediction Program (3DSSPP) [28] y el método REBA [29].

En 1993 aparece el Método RULA, desarrollado por McAtamney y Corlett en 1993 [13] para la valoración de posturas severas de carga y especialmente para trabajos sedentarios. El rango de movimiento para cada postura del miembro superior, brazo, antebrazo, cuello, espalda, y muñeca, se dividen en secciones numeradas. El número uno se asocia al riesgo mínimo y los números más altos se van dando a situaciones de mayor riesgo. Este método además de la postura considera la carga en el sistema músculo-esquelético debida a una actividad muscular mantenida, o a la aplicación de una fuerza. El método indica el nivel de intervención requerido para reducir el nivel de riesgo debido a la carga postural.

El método REBA, está basado en el método RULA, siendo más apropiado cuando existen posturas dinámicas, estáticas o cambios bruscos de posición [29]. Para utilizar el método, se elige la postura y se valora con los marcadores de los diagramas del método. El método tiene también en cuenta el factor de fuerza y da como resultado un índice que indica que acción se debe tomar para la mejora ergonómica del puesto.

Dentro de los métodos de observación, nos encontramos con distintas referencias a técnicas de observación basadas en la grabación para una posterior evaluación postural. Consisten en grabaciones de las distintas posturas del trabajador en la realización de la tarea así como el análisis de los distintos segmentos del cuerpo mediante programas informáticos.

Con estos métodos se pueden evaluar distancias recorridas, velocidades y aceleraciones de las distintas partes del cuerpo, variación de ángulos de las extremidades, columna, hombros y cuello entre otras. Existen dos alternativas, los sistemas de grabación mediante cámara de vídeo y los sistemas de capturas de movimiento.

Mediante estos sistemas se puede medir la postura del operario sin que el analista tenga que estar en el puesto de trabajo, aunque el análisis de las posturas requiere entrenamiento, para poder interpretar correctamente la postura del trabajador. Si se quiere realizar un estudio con gran detalle, el tiempo empleado en la valoración de las imágenes es considerable. En las capturas, en

ocasiones, la posición de la cámara respecto al operario varía, con lo cual los ángulos observados entre distintas tomas pueden no ser los mismos lo que complica la valoración. En general distinguir la posición de muñeca y hombro es difícil con este método, no así el cuello y la espalda [30].

Un ejemplo es el método VIDAR, un método informatizado de autovaloración por parte del operador desarrollado por Kadefors y Forsman [31]. El operario es grabado en vídeo mientras realiza la secuencia de trabajo que se analizará. Más tarde, la grabación de vídeo se muestra en una pantalla de ordenador y el operario observándose a sí mismo, señala las situaciones en las que sentía dolor o malestar. Una vez vista la grabación de vídeo se pide al operario la información en cuanto a la pieza o el cuerpo implicado en el trabajo que desempeña por medio de un plano del cuerpo y se le pregunta por el nivel del malestar según la escala de Borg CR-10. El método es episódico pero permite detectar no sólo las cargas máximas si no también el malestar debido a la exposición repetitiva.

Dentro de los métodos de observación, se podrían incluir los sistemas expertos, un ejemplo de este tipo de metodología son las redes neuronales, a partir de un conjunto de entradas asociadas a un conjunto de salidas, se genera una red que es capaz de predecir el "comportamiento experto" del sistema ante una entrada distinta a las que la red ha utilizado para aprender. Ante una entrada no conocida, el sistema es capaz de dar la mejor solución que un experto podría dar. Larding [32] realiza una revisión de algunos de estos sistemas.

### **2.3. Ergonomía Industrial y Modelos Humanos Digitales (DHM)**

Los estudios de simulación, empleados en diversas áreas de la investigación, son de gran utilidad para conocer el comportamiento de ciertos fenómenos bajo diferentes escenarios virtuales a través de algún software especializado [33]. Por otro lado, la implementación de estos métodos en herramientas virtuales 3D que se utilizan en procesos de fabricación y montaje, tomando como referencia modelos para generar el correspondiente entorno virtual 3D donde se diseña y valida el proceso de manera interactiva, facilita una rápida adaptación a los posibles cambios del producto y favorece la mejora continua del proceso [34].

En un “entorno ergonómico virtual” un DMH juega un importante papel. Los primeros desarrollos de DMH datan de los años 60 y han sufrido un importante avance recientemente, fundamentalmente por las mejoras que ha aportado su utilización, y la resolución de distintas limitaciones asociadas a los programas utilizados. Örtengren R. et al [35] clasifican los DHM en 2 grandes grupos: modelos cognitivos/actuación (CA DHM) y modelos físicos (F DHM). Los primeros permiten calcular fuerza y momentos en las articulaciones y otras partes del cuerpo, durante la ejecución de la actividad. El segundo grupo simula la apariencia y movilidad humana mediante un maniquí visualizado gráficamente dentro de un entorno virtual 3D generado por ordenador

Los principales modelos comerciales de maniqués que se utilizan actualmente en la simulación ergonómica de procesos industriales son: JACK (UGS) y DELMIA HUMAN (Dassault Sistemas), junto con RAMSIS [36]-Estas herramientas están limitadas en lo referente a la elección del método de evaluación postural a utilizar en la simulación. Dichas herramientas implementan como método de observación OWAS y RULA. El trabajo presentado ha elegido HUMAN para la evaluación postural y simulación ergonómica, ampliándola con la programación externa del método de observación REBA. El uso de esta herramienta está muy extendido en sectores industriales como la aeronáutica y la automoción, con ejemplos de éxito de su utilización [37, 38].

### 3. COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS DE OBSERVACIÓN

La mayoría de los métodos dan como resultado un valor global en forma de una puntuación obtenida como combinación de las valoraciones de los distintos factores de riesgo evaluados. Ese valor final se sitúa dentro de una escala que permite valorar si el riesgo está dentro de los límites permisibles y/o establecer prioridades de intervención. Los datos epidemiológicos sobre los que están basadas las puntuaciones de estos métodos, están limitadas respecto a cómo se deben ponderar los distintos factores o cómo cuantificar la interacción entre los mismos, con lo que la validación de la mayoría de los métodos no es del todo clara.

En la literatura científica se encuentran distintos estudios comparativos entre métodos de valoración

ergonómica. Chiasson et al [39] comparan 8 métodos de evaluación postural en encontrando diferencias entre los métodos, siendo menores para los métodos RULA y REBA. Jones y Kumar [40] comparan 5 métodos llegando a la misma conclusión. Beek y Frings-Dresen [41], consideran importante recabar datos subjetivos del propio operario como parte de la valoración física ó psicosocial demandada. Russell et al. [42] realizan un estudio comparativo de los métodos para la valoración del manejo de cargas, encontrando que el que mayor exposición predice es la ecuación de NIOSH. Perucha y Ledesma [43], en operaciones del sector pesquero, comparan el método RULA Y REBA, identificando un mejor resultado al utilizar el método RULA. Idoate [44], compara el método RULA y LUBA, para la valoración ergonómica de puestos de trabajo con pantallas de visualización de datos, no encontrando diferencias significativas y su utilización conduce a los mismos resultados.

La proliferación de los métodos de observación ha hecho que se utilicen de forma un tanto indiscriminada, mostrando resultados y evaluaciones con poco valor. Para una correcta evaluación del puesto es necesario conocer el puesto de trabajo y estar con la certeza de que el método ha sido desarrollado para las condiciones de evaluación que requiere dicho trabajo.

Distintas normas internacionales comparan métodos de valoración ergonómica, e incluso adoptan alguno de sus criterios para su desarrollo, estableciendo así un criterio de buenas prácticas, recomendaciones o pautas de obligado cumplimiento comunes a investigadores y profesionales, no siendo en ocasiones su desarrollo tan detallado como el de los propios métodos de valoración [45-47].

Distintos estudios de organizaciones internacionales de referencia en el marco de la seguridad, higiene y ergonomía, marcan estrategias y políticas para la prevención de riesgos, en las que los métodos que se citan pueden ser empleados, sirviendo así como referencia para las empresas y organizaciones en el desarrollo de sus actividades [48].

No obstante, aunque el desarrollo de la estandarización y los esfuerzos de las organizaciones internacionales ha sido notable, dada la diversidad de tipologías de puestos de trabajo, en muchas ocasiones es importante

la realización de estudios con técnicas como la que se realiza en este trabajo. La simulación virtual ofrece en este objetivo múltiples ventajas y un camino para el enriquecimiento del resto de trabajos realizados hasta la fecha.

## 4. APLICACIÓN PRÁCTICA

### 4.1. Introducción

Para mostrar la puesta en práctica de estos métodos, dentro de un modo experto de diseño 3D se ha elegido la herramienta comercial DELMIA HUMAN (Dassault Sistemas), que contiene el método de evaluación RULA. Mediante programación externa se ha incorporado el método REBA.

El centro real de trabajo es una empresa que se ubica dentro del sector del metal, en la que se estudia el proceso de curvado de tubos y perfiles tal y como se está realizando en la fábrica en la actualidad. Para ello, se evalúan las actividades que se llevan a cabo en dicho puesto de trabajo, dividiendo la actividad en las siguientes tareas:

- Aprender el material de partida, que se encuentra en el suelo, apoyado sobre un listón de madera para facilitar su agarre.
- Introducir el tubo o perfil en la máquina de curvado.
- Proceso de curvado propiamente dicho, que incluye el acercamiento del carro con los rodillos curvadores hacia el rodillo fijo, el accionamiento de rodillos y las paradas de los mismos para el cambio de sentido.
- Alejamiento del carro para la liberación de la pieza final.
- Extracción manual de la pieza.
- Transporte manual de la pieza hasta la zona de almacenaje, que se hace a la altura del suelo.

Una vez conocido el proceso completo, se procede a la simulación ergonómica del puesto con el módulo "Ergonomics Design and Analysis" de DELMIA V5. La herramienta permite el estudio conceptual de todas las operaciones de montaje del proceso, utilizándose

principalmente para aquellas de mayor responsabilidad y complejidad. En la realización del estudio se tienen en cuenta dos percentiles de población, mujer 5 y hombre 95, abarcando de este modo el 95% de la población. La población de referencia utilizada es la francesa, incorporada en el módulo de simulación. Se ha comprobado que los percentiles utilizados corresponden a la población de la planta de producción.

Se realiza el análisis de la situación actual del puesto teniendo en cuenta todos los datos conocidos en cuanto a material, tareas, proceso de trabajo y situación de la máquina, empleándose en el presente estudio como material de partida un perfil L de 3.300 mm de longitud y un peso aproximado de 24 kg, para obtener como producto final un aro de 959 mm de diámetro interior. El tiempo invertido en el proceso curvado de esta pieza es de ocho minutos contados desde que se aprehende el material y hasta que se almacena el producto final.

Los análisis posturales, que darán como resultado la evaluación de los movimientos y las posturas del trabajador en el puesto de trabajo, se realizan empleando los métodos RULA y REBA

### 4.2. Definición del puesto de trabajo

Tras la observación y análisis del puesto de trabajo y del proceso llevado a cabo en el propio centro de trabajo, se determinan los problemas ergonómicos que aparecen en el mismo:

- Almacenaje del material de partida a la altura del suelo.
- Altura del puesto excesivamente baja.
- Almacenaje del producto terminado a la altura del suelo.

Para estos tres casos se plantean soluciones con el fin de evitar la aparición de lesiones, o al menos, minimizar lo máximo posible los riesgos para su aparición, lo que da lugar y conduce a una mayor satisfacción del operario y a un incremento de la productividad y de la eficiencia. Las dimensiones de los elementos que componen los distintos escenarios se han obtenido mediante medición directa en la instalación objeto del estudio.

### 4.3. Situación actual

En el primer paso del proceso el operario captura el perfil inicial del suelo ayudándose de un gancho, lo cual evita tener que agacharse, para colocarlo sobre el rodillo y posteriormente introducirlo en la máquina. La actividad se entiende que es intermitente. Se analiza las posturas de operario en las situaciones más desfavorables (Figura 1), es decir, cuando el perfil se encuentra en la posición inferior y el momento en que el operario la aprehende con la mano.

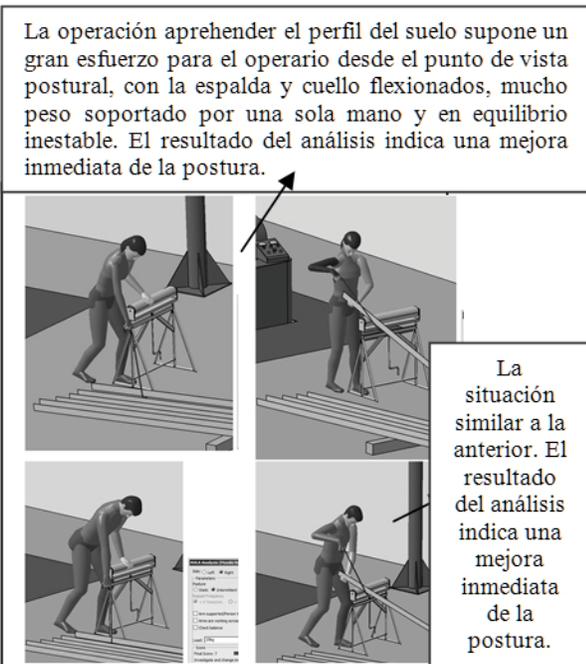


Figura 1. Análisis posición inferior y aprehendimiento del perfil con la mano

Respecto a la altimetría del puesto, en la situación actual, la base de la máquina de curvado está situada 230 mm por debajo de la altura del suelo. Para el estudio de la altimetría del puesto se analizan tres casos (Figura 2):

- La alimentación de la máquina.
- El accionamiento de mandos.
- La parada de emergencia.

Para el almacenaje del producto final a la altura del suelo (Figura 3), la tarea de descarga del producto de la máquina y su transporte hasta la zona de almacenaje, que se hace sobre el suelo, se realiza de forma manual.

En este apartado se analizan también la extracción del producto final de los rodillos curvadores, el prendimiento del producto para bajarlo de la bancada de la máquina y el dejar el producto en la zona de almacenaje.

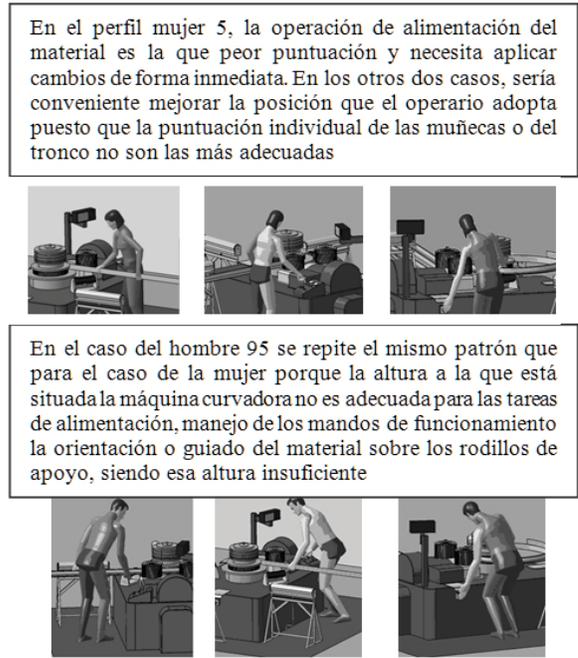


Figura 2. Altimetría del puesto.

En el perfil mujer 5, el levantamiento manual de grandes cargas y los altos esfuerzos para elevar y extraer el material de la máquina, es un alto factor de riesgo para la aparición de lesiones. Por lo tanto, es necesario aplicar cambios de forma inmediata en la realización de esta parte del proceso.

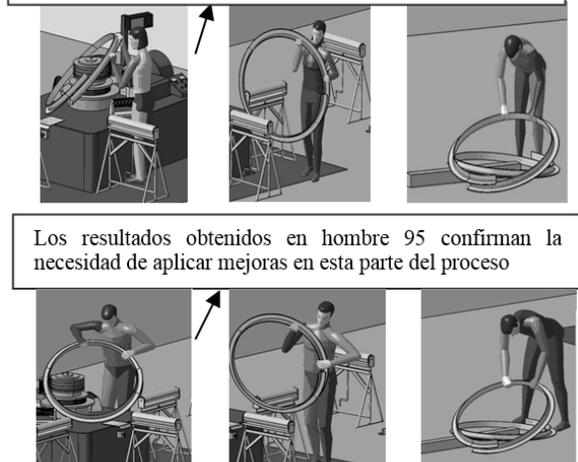


Figura 3. Almacenaje del producto final

#### 4.4. Propuestas de mejora y resultados

Para los tres principales problemas encontrados en el puesto de curvado de perfiles se proponen soluciones que mejoran las posturas que el operario tiene que adoptar en la realización de sus tareas. A continuación se mostrarán dichas propuestas y se analizarán los resultados en los mismos casos estudiados anteriormente. Las principales modificaciones propuestas son las siguientes:

- Utilización de un contenedor para el material de partida, situado a la altura de trabajo.
- Elevación de la máquina curvadora a la altura del suelo.
- Utilización de la grúa con el polipasto para la descarga del producto final, desplazándola de su situación actual, hasta el plano de simetría de la máquina de curvado.
- Utilización de un contenedor para el producto final, basado en un sistema de perchas intercambiables en función de la geometría y dimensiones del producto.

La primera de las mejoras propuestas consiste en la utilización de un contenedor para el material de partida, que tendrá la altura de trabajo (Figura 4). Dispondrá además de patas regulables en altura, para aquellos casos en que sea necesario cambiar dicha dimensión con el fin de facilitar la tarea. El material necesario será situado sobre el contenedor, de donde el operario lo irá capturando sin necesidad de agacharse ni de realizar grandes esfuerzos. Tan sólo tiene que deslizarlo hacia la salida, donde hay un rodillo, también regulable, que le ayudará en esta labor.

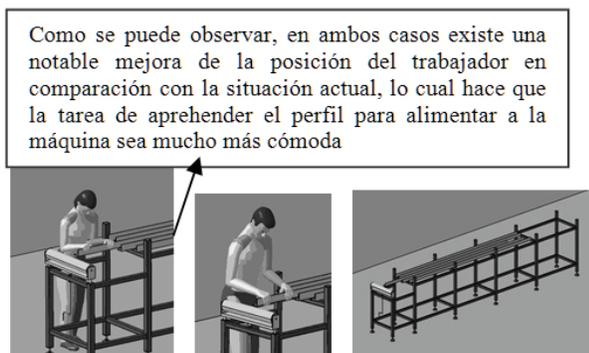


Figura 4. Contenedor para material de partida

Respecto a la altimetría del puesto, en la situación actual, la base de la máquina curvadora está situada 230 mm por debajo de la altura del suelo. Se propone elevar la máquina esos 230 mm, dejándola a nivel de suelo. Para comprobar los resultados que se pueden obtener al realizar esto, se analizan las tres mismas situaciones que en la situación actual: la alimentación de la máquina, el accionamiento de mandos y la parada de emergencia (Figura 5).

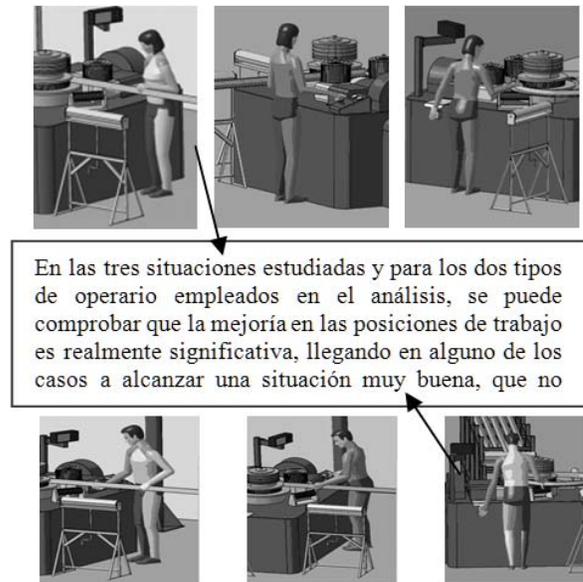


Figura 5. Altimetría del puesto

Para la última tarea del proceso se propone pasar de la ejecución de la actividad de forma manual a semiautomática a través del empleo de la grúa con polipasto presente en el centro de trabajo y utilizar un contenedor donde ir depositando el producto una vez finalizada su conformación.

El contenedor está basado en un sistema de perchas intercambiables en función de la geometría y dimensiones del producto, y dispone de ruedas con freno para situarlo fácilmente en el lugar y posición más conveniente en cada caso (Figura 6).

Con el empleo de ambas soluciones se pretende evitar el esfuerzo que produce tanto la manipulación manual de materiales como el esfuerzo postural que supone dejar elementos tan pesados a la altura del suelo, además de ayudar al transporte de lotes de productos ya terminados a zonas de la nave donde no supongan

un estorbo en la realización de esta y otras actividades que se llevan a cabo en el centro de trabajo.

Tras la evaluación de los resultados en la evaluación postural realizada con los métodos RULA y REBA, se puede afirmar que las propuestas de realizadas mejoran en todos los casos las posiciones adoptadas en la situación actual.

En las Tablas 1 (para el percentil hombre 95) y 2 (para el percentil mujer 5) se muestra los resultados finales de las puntuaciones obtenidas para las distintas posturas realizadas por el operario, valoradas según RULA Y REBA antes y después de implementar las propuestas de mejoras en el puesto de trabajo.

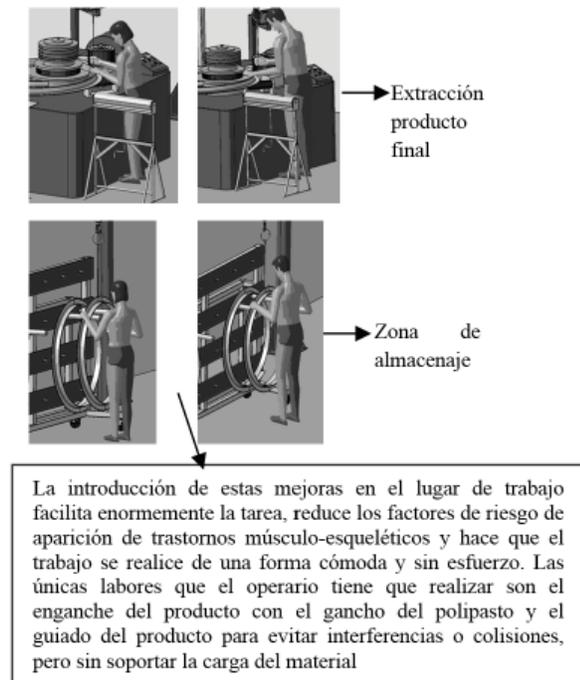


Figura 6. Polipasto y contenedor producto final

En dichas tablas (D) representa la valoración para el lado derecho del cuerpo e (I) para el izquierdo.

Tabla 1. Resultados finales percentil hombre 95

	Puntuaciones finales hombre 95							
	Situación actual				Propuestas de mejora			
	RULA		REBA		RULA		REBA	
	D	I	D	I	D	I	D	I
Aprender el material del suelo	7	4	6	4	4	4	4	4
Aprender el material con mano	7	7	5	6				

	Puntuaciones finales hombre 95							
	Situación actual				Propuestas de mejora			
	RULA		REBA		RULA		REBA	
	D	I	D	I	D	I	D	I
Alimentar la máquina	6	6	8	8	4	4	4	4
Accionar los mandos	6	6	5	5	2	2	3	3
Parada de emergencia	5	5	7	8	2	2	3	3
Extraer el producto	7	7	9	7	2	2	3	1
Aprender el producto	7	6	6	6				
Almacenaje producto	7	7	9	9	2	2	2	2

Tabla 2. Resultados finales percentil mujer 5

	Puntuaciones finales mujer 5							
	Situación actual				Propuestas de mejora			
	RULA		REBA		RULA		REBA	
	D	I	D	I	D	I	D	I
Aprender material del suelo	7	4	7	4	4	4	4	4
Aprender material con mano	7	7	10	9				
Alimentar la máquina	7	7	8	6	4	4	4	4
Accionar los mandos	3	3	5	4	2	2	3	3
Parada de emergencia	4	4	5	4	2	2	1	1
Extraer el producto	6	5	8	7	2	2	1	1
Aprender el producto	7	7	8	8				
Almacenaje producto	7	7	7	7	2	2	1	1

### 5. CONCLUSIONES

Se ha evidenciado que existe una gran cantidad de métodos de valoración ergonómica susceptibles de ser utilizados en la ingeniería de fabricación donde la valoración del riesgo para trastornos músculo-esqueléticos es un paso esencial en la prevención de

riesgos laborales, siendo un escenario ideal aquel en el que el analista pueda contar con un método rápido y fácil de usar, con la suficiente flexibilidad para aplicar en cualquier campo de trabajo y la fiabilidad suficiente para detectar los factores de riesgo necesarios.

En la aplicación práctica en la empresa estudiada, los métodos RULA y REBA empleados son aplicables al tipo de tareas estudiadas por consistir en trabajos estáticos o repetitivos.

Comparando los resultados obtenidos por ambos métodos y teniendo en cuenta que aunque existe una cierta similitud entre ambos métodos, el sistema de puntuación final para los niveles de actuación es diferente, ya que, RULA puntúa de 1 a 7 con cuatro niveles de actuación y por su parte REBA lo hace de 1 a 15 con cinco niveles. de actuación, se puede observar que ambos métodos detectan el riesgo, si bien el método RULA lo realiza con mayor severidad en la mayoría de los casos y especialmente para el mayor percentil. Si se observan las puntuaciones para las propuestas de mejora se puede ver que ambos métodos dan resultados similares, mostrando una mejora en la condiciones de trabajo.

Se han utilizado herramientas de simulación virtual y programación externa para aplicar los dos métodos conjuntamente. La utilización de las herramientas de simulación virtual y la posibilidad de su enriquecimiento mediante incorporación de nuevas rutinas particulares e inherentes al proceso de estudio mediante programación externa, favorece la toma de decisiones empresariales con el consiguiente ahorro en costes e inversiones que conllevaría la puesta en práctica de soluciones adoptadas por los métodos más tradicionales que no ofrecerían ni una fiabilidad ni un grado de garantías suficientes de su viabilidad y eficiencia antes de su puesta en práctica en el proceso real, estando en sintonía con los procesos de mejora continua propios e inherentes a la ingeniería de fabricación de organizaciones modernas en un entorno empresarial competitivo y globalizado.

## REFERENCIAS

- [1] Van der Beek, A. and Frings-Dressen, M., Assessment of mechanical exposure in ergonomic epidemiology, *Occup. Environ. Med.* 55(5), pp. 291–299, 1998.
- [2] Fraguera, J. A., Carral, L., Iglesias, G. and Rodríguez, M. J., Functions, responsibility, and authority of human resources in the implementation of a security and safety management system at work. *Dyna*, 79(182), pp. 80-186, 2012.
- [3] Winkel, J. and Mathiassen, S. E., Assessment of physical work in epidemiology studies: concepts, issues and operational considerations. *Ergonomics*, 37(6), pp. 979–988, 1994.
- [4] Bongers, P., De Winter, C., Kompier, M. and Hildebrandt, V., Psychosocial factors at work and musculoskeletal disease. *Scand. J. Work Environ. Health*, 19, pp. 297–312, 1993.
- [5] Armstrong, T. J., Buckle, P., Fine, L. J., Hagberg, M., Jonsson, B., Kilbom, A., Kuorinka, I. A., Silverstein, B. A., Sjøgaard, G. and Viikari-Juntura, E. R., A conceptual model for work-related neck and upper limb muscle-skeletal disorders. *Scand. J. Work Environ. Health*, 19, pp. 73–84, 1993.
- [6] Li, G. Y. and Buckle, P., Current techniques for assessing physical exposure to work-related musculoskeletal risks, with emphasis on posture-based methods. *Ergonomics*, 42(5), pp. 674–695, 1999.
- [7] Laring, J., Ergonomic workplace design development of practitioner's tool for enhanced productivity [PhD Thesis]. Chalmers: University of Technology, 2004.
- [8] You, H. and Kwon, O., A survey of repetitiveness assessment methodologies for hand-intensive tasks. *Int. J. Ind. Ergon.* 35(4), pp. 353-360, 2005.
- [9] Rescalvo, S. F., Ergonomía y Salud, Junta de Castilla y León. Consejería de Economía y Empleo. Dirección General de Trabajo y Prevención de Riesgos Laborales. D.L.: S/1370/2004.
- [10] Chaikumarn, M., Ergonomic evaluation of technology change at work and Its Effects on Health [PhD Thesis]. Luleå: University of Technology, 2005.
- [11] Balogh, I., Orbaek, P., Ohlsson, K., Nordander, C., Unge, J. and Winkel, J., Self-assessed and directly measured occupational physical activities—influence of musculoskeletal complaints, age and gender. *Appl. Ergon.*, 35(1), pp. 49–56, 2004.
- [12] Pope, D. P., Silman, A., Cherry, N., Pritchard, C., MacFarlane, G., Validity of a self completed questionnaire measuring the physical demands of work. *Scand. J. Work*

Environ. Health, 24(5), pp. 376–385, 1998.

[13] McAtamney, L. and Corlett E. N., RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Appl. Ergon.*, 24(2), pp. 91–99, 1993.

[14] Li, G. and Buckle, P., Current techniques for assessing physical exposure to work-related musculoskeletal risks, with emphasis on posture-based methods. *Ergonomics*, 42(5), pp. 674–695, 1999.

[15] Corlett, E. N. and Bishop, R. P., Technique for assessing postural discomfort. *Ergonomics*, 19(2), pp. 175-182, 1976.

[16] Gil, H. J. C. and Tunes, E., Posture recording: a model for sitting posture. *Appl. Ergon.*, 20(1), pp. 53-57, 1989.

[17] Kemmlert, K., A method assigned for the identification of ergonomics hazards - PLIBEL. *Appl. Ergon.*, 26(3), pp. 199-211, 1995.

[18] Christmansson, M., The HAMA-method: a new method for analysis of upper limb movements and risk for work-related musculoskeletal disorders. En: Proceedings of the 12th Triennial Congress of the International Ergonomics Association/Human Factors Association of Canada, August, Toronto, pp. 173-175, 1994.

[19] Li, G. and Buckle, P., The development of a practical method for the exposure assessment of risks to work-related musculoskeletal disorders. General report to the HSE (Contract No. R3408), Robens Centre for Health Ergonomics, European Institute of Health and Medical Sciences, University of Surrey. 1998.

[20] Aptel, M., Lafaurie, S., Tronchet, L. and Atain-Kouadio, J. J., OREGÉ: un outil simple dévaluation des facteurs de risque biomécanique de TMS du membre supérieur. INRS - Institut National de Recherche et de Sécurité Vandoeuvre, 2000.

[21] Moore, J. S. and Garg, A., The strain index. A proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders. *Am. Ind. Hyg. Ass. J.*, 56(5), pp. 443-458, 1995.

[22] Freivalds, A., Biomechanics of the upper limbs, mechanics, modeling and musculoskeletal injuries. CRC press, Boca Raton, Florida, USA, 2004.

[23] Seth, V., Weston, R.L. and Freivalds, A., Development of a cumulative trauma disorders risk assessment model for

the upper extremities. *Int. J. Ind. Ergon.*, 23(4), pp. 281-291, 1999.

[24] Colombini, D., An observational method for classifying exposure to repetitive movements of the upper limb. *Ergonomics*, 41(9), pp. 1261-1289, 1998.

[25] Kee, D. and Karwowski, W., LUBA: an assessment technique for postural loading on the upper body based on joint motion discomfort and maximum holding time, *Appl. Ergon.*, 32(4), pp. 357–366, 2001.

[26] U.S. DHHS. NIOSH Work practice guide for manual lifting. Technical report, n°81-122 Department of Health and Human service, NIOSH, San Francisco, California, 1991.

[27] Kuijter, P., Hoozemans, M., Frings-Dresen, M., A different approach for the ergonomic evaluation of pushing and pulling in practice, *Int. J. Ind. Ergon.*, 37(11-12), pp. 855-862, 2007.

[28] Chaffin, D. B., Development of computerized human static strength simulation model for job design. *Hum. Factors Ergonom. Manuf. Serv. Ind.*, 7(4), pp. 305-322, 1997.

[29] Hignett, S. and McAtamney, L., Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Appl. Ergon.*, 31(2), pp. 201–205, 2000.

[30] Neuman, W. P., Wells, R. P., Norman, R. W., Kerr, M., Frank, J. and Shannon, H., Trunk posture: reliability, accuracy, and risk estimates of low back pain from a video based assessment method. *Int. J. Ind. Ergon.*, 28(6), pp. 355–365, 2001.

[31] Kadefors, R. and Forsman, M., Ergonomic evaluation of complex work: a participative approach employing video computer interaction, exemplified in a study of order picking, *Int. J. Ind. Ergon.*, 25(4), pp. 435–445, 2000.

[32] Laring, J., Ergonomic workplace design development of practitioner's tool for enhanced productivity [PhD Thesis]. Chalmers: University of Technology. 2004.

[33] Salazar, J. C. and Baena-Zapata, A., Analysis and design of experiments applied to simulation studies, *Dyna*, 76(159), pp. 249-257, 2009.

[34] García, M., Sánchez, A., Domingo, R. and Sebastián, M. A., A cost benefit ergonomics methodology applied to service industry with digital human modelling. *Eur. J. Ind. Eng.*, In Press, 2013.

- [35] Salvendy G. Handbook of Human Factors and Ergonomics (Third Edition). Wiley. 2006
- [36] Heiner, B., Computer Aided Tools of Ergonomics and System Design. Hum. Factors Ergonom. Manuf. Serv. Ind. 12(3), pp. 249-265, 2002
- [37] Lämkkull, D., Hanson, L., Örtengren, R., A comparative study of digital human modelling simulation results and their outcomes in reality: A case study within manual assembly of automobiles, Int. J. Ind. Ergon, 39(2), pp. 428-441, 2009.
- [38] De Magistris, G., Micaelli, A., Evrard, P., Andriot, C., Savin, J., Gaudez, C., Marsot, J., Dynamic control of DHM for ergonomic assessments, Int. J. Ind. Ergon, 43(2), pp. 170-180, 2013.
- [39] Chiasson, M. È., Imbeau, D., Aubry, K. and Delisle, A., Comparing the results of eight methods used to evaluate risk factors associated with musculoskeletal disorders. Int. J. Ind. Ergon. 42(5), pp. 478-488, 2012.
- [40] Jones, T., Kumar, S., Comparison of ergonomic risk assessments in a repetitive high-risk sawmill occupation: Saw-filer, Int. J Ind. Ergon, 37, I(9–10), pp. 744-753, 2007.
- [41] Van der Beek, A. and Frings-Dressen, M., Assessment of mechanical exposure in ergonomic epidemiology. Occup. Environ. Med., 55(5), pp. 291–299, 1998.
- [42] Russell, S., Winnemuller, L., Camp, J. and Johnson, P., Comparing the results of five lifting analysis tools. Appl. Ergon., 38(1), pp. 91–97, 2007.
- [43] Perucha, M. and Ledesma, J., Evaluación de las posturas de trabajo como riesgos de carga física en el sector marítimo-pesquero. Prevención, Trabajo y Salud, 28, pp.11-15, 2003.
- [44] Idoate, V. M., Saquies, N., Pascual, J. et al., Guerge, M. C., Erdozain, M. and Asenjo, B., Evaluación ergonómica comparativa para puesto de trabajo con pantallas de visualización de datos. Proceedings of the ORP Conference, 2006.
- [45] ISO 11226 Ergonomics–evaluation of static working postures. International Organization for Standardization, 2000.
- [46] ISO 11226/Cor 1 Ergonomics evaluation of static working postures. International Organization for Standardization, 2006.
- [47] EN 1005-4/A1 Safety of machinery - human physical performance - part 4: evaluation of working postures and movements in relation to machinery, 2008.
- [48] Evaluation of MDS policies and programs. Results. Available: [http://www.ilo.org/secsoc/information-resources/publications-and-tools/WCMS\\_SECSOC\\_35289/lang--en/index.htm](http://www.ilo.org/secsoc/information-resources/publications-and-tools/WCMS_SECSOC_35289/lang--en/index.htm) [consultado 12 de febrero de 2013]