

# Aplicaciones ergonómicas en las primeras etapas de diseño para la ingeniería de procesos industriales



Manuel García-García  
Alberto Sánchez-Lite  
Javier Onecha  
Rosario Domingo

Dr. Ingeniero Industrial  
Dr. Ingeniero Industrial  
Ingeniero Industrial  
Dra. Ingeniero Industrial

UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA. E.T.S.I.I. Dpto. de Ingeniería de Construcción y Fabricación. C. Juan del Rosal, 12 - 28040 Madrid. Tfno: +34 913 987925. [mggarcia@ind.uned.es](mailto:mggarcia@ind.uned.es)

Recibido: 01/02/2013 • Aceptado: 17/04/2013

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/5734>

## ERGONOMIC APPLICATIONS AT THE EARLY INDUSTRIAL PROCESS ENGINEERING DESIGN STAGES

### ABSTRACT

- The use of simulation tools and three dimensional (3D) computer aided design is currently widespread in Process Engineering for machine design, manufacturing tools and dimensional control models, but it is not so common for method and job design. For workplace design it is essential to have all data from product, process, and resources needed to manufacture. Human factor is a key issue among these resources, as it obliges to make a working environment major study, in order to ensure that operators can perform their tasks in safety way and without injury damages. In this way, the use of a Digital Human Model as a first element of the denominated 'Digital Manufacturing', is an excellent opportunity to integrate all the product-process design elements into a real concurrent engineering, which allows to analyze important variables such as ergonomics or time estimation. From ergonomics point of view, all the possible and potential injuries in the musculoskeletal system which could be a result or consequence of job tasks development have generated a great interest at Manufacturing Engineering. This paper presents an addition, extension and annexe of the ergonomic analysis methods for these risks prevention, which currently has one of the most used tools in sectors such as aeronautics and automotive. It has been for the first time satisfactorily implemented the OCRA Check-List method in a 3D design and simulation environment application, evaluating the simulation tool ability and capacity for tasks time prediction. The application, together with the evaluator active participation, permits to make correct risks analysis of musculoskeletal injuries due to repetitive work, as well as tasks time development estimation.
- **Keywords:** Process Engineering, 3D simulation, ergonomic, OCRA Check-List, digital human modelling (DHM).

### RESUMEN

Actualmente en la Ingeniería de Procesos, el uso de herramientas de simulación y diseño asistido por ordenador en tres dimensiones (3D) para diseño de máquinas, utillajes de fabricación y maquetas de control dimensional está muy extendido, no así para el diseño del método y el puesto de trabajo. Para el diseño del puesto de trabajo es necesario contar con los datos de producto, el proceso y los recursos necesarios para la fabricación. Dentro de estos recursos el factor humano es un factor clave, que obliga a un importante estudio del entorno de trabajo, para asegurar que el operario pueda realizar sus tareas con seguridad y sin sufrir lesiones. En esta línea el uso de un Modelo Humano Digital como primer elemento de la denominada "Fabricación digital", es una excelente opción para integrar todos los elementos del diseño producto-proceso en una ingeniería concurrente real, que permita analizar variables tan importantes como la ergonomía o la estimación de tiempos. Desde el punto de vista ergonómico, las posibles lesiones en el sistema músculo-esquelético sufridas como consecuencia de las tareas en el puesto de trabajo, ha generado un interés general por parte de la ingeniería de fabricación. El presente trabajo presenta una ampliación de los métodos de análisis ergonómicos para la prevención de estos

riesgos, que actualmente tiene una de las herramientas más utilizadas en sectores como la aeronáutica o la automoción. Por primera vez se ha implementado satisfactoriamente el método *OCRA Check-List* en una aplicación en entorno de diseño y simulación 3D, evaluando además la capacidad de la herramienta de simulación para predecir los tiempos de las tareas. La aplicación, mediante la participación activa del evaluador permite, realizar un análisis correcto de los riesgos de lesiones músculo-esqueléticas debidas a trabajos repetitivos, así como una estimación de los tiempos de las tareas.

**Palabras clave:** Ingeniería de procesos, simulación 3D, ergonomía, *OCRA Check-List*, modelo humano digital (DHM).

## 1. INTRODUCCIÓN

La competencia global y la rápida demanda de modificaciones está produciendo un gran cambio en la concepción y desarrollo de los métodos de producción. Así, los productos y los procesos están sometidos a un constante cambio, incrementando la diversidad de los artículos existentes y reduciendo el tiempo de su puesta en el mercado. En este panorama, surge el desarrollo de la modelización virtual de productos y procesos de fabricación como una posible respuesta a la satisfacción de estas necesidades.

La modelización virtual ha evolucionado desde la utilización de un plano CAD en 2D a la construcción de un modelo completo 3D que representa lo que se conoce como una “Fábrica Digital”. El éxito de este concepto se fundamenta en el correcto modelado del proceso y los puestos de trabajo. En numerosas actividades el factor humano es clave, y en esta línea las herramientas actuales en 3D incluyen modelos digitales humanos (DHM) que, mediante la simulación, permiten adaptar el proceso al uso de las personas. Esto, en muchas ocasiones, permite diseñar un puesto de trabajo correctamente, sin necesidad de prototipos físicos, reduciendo costes y tiempos de desarrollo.

Una de las posibilidades que presentan los estudios de simulación, es la de poder evaluar distintas alternativas y realizar estudios modificando pequeños parámetros de un modelo. Bäckstrand et al [1] presenta un ejemplo en Volvo Car donde un DHM es de gran ayuda para evaluar distintos escenarios y poder relacionar una mejora ergonómica con costes, incluso con puesto de trabajo que ya cumplen estándares desde el punto de vista ergonómico. Dejando a un lado la capacidad y facilidad de empleo de estas herramientas, un factor muy importante es cómo se están utilizando y cómo se deben usar. En el caso de las valoraciones ergonómicas, es evidente que junto con el conocimiento y destreza adecuada en el manejo de las herramientas, es necesario un conocimiento en ergonomía y factores humanos.

Una mala adaptación del puesto de trabajo al factor humano, se traduce en ineficiencia y lesiones para el trabajador. De los 596.523 accidentes, lesiones o

enfermedades laborales con baja laboral registrados en España en el año 2010 [2], la mayor parte de lesiones se producen en las extremidades superiores (200.824). La quinta Encuesta Europea sobre las condiciones de trabajo (EWCS 2010 [3]), muestra que el 25% de los trabajadores de la UE sufre dolores de espalda y el 23% padece dolores musculares, teniendo el contenido del trabajo un mayor grado de carácter de movimientos repetitivos con respecto a años anteriores. En el mismo año, en Estados Unidos el número de lesiones músculo-esqueléticas alcanzó los 346.400 trabajadores afectados, siendo 253.450 el número de trabajadores afectados en las extremidades superiores, suponiendo un 21% de los accidentes registrados, y 386.550 el número de lesiones o accidentes del tronco y espalda fueron siendo en total un 38,2% de las incidencias registradas [4].

Los programas de simulación 3D juegan en la actualidad un papel muy importante en la valoración ergonómica de los puestos de trabajo. En este sentido, y centrándonos en la prevención de riesgos por trastornos músculo-esqueléticos, las herramientas de simulación más utilizadas integran modelos desarrollados para evaluar dichos riesgos mediante métodos indirectos como el RULA [5] o el OWAS [6]. En el desarrollo de la actual norma UNE-EN 1005-5: 2007 [7], se ha utilizado el método *Occupational Repetitive Actions* (OCRA) [8]. Dicho método es postulado como método de preferencias por la norma ISO 11228-3:2007 [9].

Ningún modelo comercial actual de DHM incluye el método OCRA, lo que puede suponer una excelente oportunidad de mejora e innovación aplicada. Con un método adecuado, y la participación activa del evaluador se puede realizar un análisis correcto de los riesgos de lesiones músculo-esqueléticas debidas a trabajos repetitivos, así como una estimación de los tiempos de las tareas siguiendo las etapas del estudio de métodos [10].

Por medio del estudio de movimientos, en conjunto con los principios de economía de movimientos de Niebel y Freivalds [11], se rediseña el trabajo para lograr una mayor efectividad y una tasa de producción más alta. Una de las formas para desarrollar el método óptimo de operación es realizar un análisis de tiempos predeterminados (MTM) que elimine los movimientos innecesarios y mejore los necesarios. Sin embargo, dicho análisis debe mejorarse mediante el uso de análisis ergonómicos [12], generando, desde el diseño de la estación de trabajo con todos los recursos y utillajes necesarios, hasta la incorporación del factor humano, teniendo en cuenta factores productivos y ergonómicos [13]. De este modo pueden evitar posturas y tareas que puedan producir lesiones músculo-esqueléticas, y encontrar la distribución del puesto de trabajo que maximizan la eficiencia de la estación de trabajo [14].

## 2. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

El desarrollo de la aplicación se realiza cuatro fases, mostradas en la Fig. (1), que van desde el establecimiento de

requerimientos para la aplicación y la elección del software en la que se genera su implantación, hasta la validación final en un entorno real de diseño producto-proceso.



Fig. 1: Fases del desarrollo de la aplicación de evaluación ergonómica

### 2.1. FASE 1. REQUERIMIENTOS Y ELECCIÓN DEL ENTORNO DE SIMULACIÓN 3D

La herramienta informática de simulación escogida debe cumplir con los requisitos que se definen en la Tabla 1.

Requisito	Justificación del requisito
Manejo sencillo y amigable	Para facilitar la labor al ingeniero de producción.
Facilidad en la introducción de cambios	Para poder dedicar la mayor parte del tiempo al análisis de los resultados de las propuestas.
Capacidad técnica suficiente	Para poder alcanzar en el modelo el grado de perfección deseado.
Visualización adecuada	El uso entorno 3D facilita elaboración del modelo y mejora la comprobación de su corrección.
Utilización sectores / Soporte técnico	Facilidad de comunicación con cliente / Ayuda a resolver las diferentes dudas que se planteen.

Tabla 1: Requisitos de la herramienta informática de simulación

La selección del programa que se utiliza se realiza en tres etapas (Tabla 2).

Etapa	Desarrollo de la etapa
Primera	Se eliminarán los programas de simulación de propósito general, no específicos y de baja calidad.
Segunda	Análisis de las características técnicas, valorándose ponderadamente las mismas y descartando los menos competitivos.
Tercera	Análisis de la relación calidad/precio.
Cuarta	Realización de una prueba práctica y comprobar la calidad y las posibilidades.

Tabla 2: Etapas de selección de la herramienta de simulación

Teniendo en cuenta los requerimientos descritos en la Tabla 2 y las características de las herramientas más utilizadas en los sectores de interés (Tabla 3), el programa elegido fue *Delmia*<sup>®</sup> de *Dassault Systèmes*. Este programa además ofrece la posibilidad de integración directa con el entorno de diseño de producto CAD 3D de *Catia*<sup>®</sup>, software ampliamente extendido en los sectores aeronáutico y de automoción, receptores de la aplicación desarrollada, permitiendo de este modo una ingeniería concurrente entre las actividades de diseño de producto y proceso, desde las primeras etapas del diseño.

Por último, dicho software integra un módulo de programación en *Visual Basic* para Aplicaciones que permite programar y ejecutar Macros adicionales, que son una serie de instrucciones que se programan, almacenan y se pueden ejecutar, dentro del propio programa. El lenguaje de programación *Visual Basic* al ser un lenguaje de programación visual, rápido y sencillo de programar, fue elegido para la programación de las aplicaciones necesarias. Por otro lado, el método de valoración elegido fue el método *OCRA Check-List* (OCRA-CL).

La elección del método de valoración es un factor muy importante, influenciado principalmente por el tipo de actividad que se realiza en el puesto de trabajo. No existe un método válido para todos los tipos de actividad. De este modo unos se centran en el estudio de la postura, otros

Firma Comercial	Modelo	CINEMÁTICA		ANÁLISIS ERGONÓMICOS								Tiempos Estimación
		Directa	Inversa	Estudio Accesibilidad	Detección Colisiones	Visión	Fatiga	SNOOK & CIRELLO	NIOSH	OWAS	RULA	
UGS-Tecnomatix <sup>®</sup>	Jack <sup>®</sup>	SI	SI	X	X	X	X	-	X	X	X	X
	eM-Human <sup>®</sup>	SI	SI	X	X	X	X	-	X	-	X	X
DELMIA <sup>®</sup>	SAFEWORK/ HUMAN <sup>®</sup>	SI	SI	X	X	X	X	X	X	-	X	X
	Process-Engineer <sup>®</sup>	SI	NO	X	X	X	-	-	X	-	-	X

Tabla 3: Características de las herramientas de simulación 3D más utilizadas en automoción y aeronáutica

Método	Publicación	Enfoque	Alcance	Factores Evaluados							Información Producida
				Postura	Fuerza	Frecuencia	Duración	Pausas	Vibración	Otros	
OWAS	1977	Postura	Cuerpo Completo	X	X						4 Niveles de Riesgo
RULA	1993	Postura	Extremidades Superiores	X	X	X	X				4 Niveles de Riesgo
REBA [15]	1995	Postura	Cuerpo Completo	X	X	X	X			X	5 Niveles de Riesgo
ERGO/IBV [16]	1996	Postura	Extremidades Superiores	X	X	X	X				4 Niveles de Riesgo
OCRA	1998	Frecuencia	Extremidades Superiores	X	X	X	X	X	X	X	5 Niveles de Riesgo

Tabla 4: Enfoque, alcance, factores evaluados e información producida por los métodos de valoración ergonómica OWAS, RULA, ERGO/IBV y OCRA

en la fuerza empleada, o en el tiempo de exposición y su frecuencia. Cada método evalúa un conjunto de factores como la postura, fuerza, frecuencias, duración, pausa, presencias de vibraciones, etc., clasificando las tareas en distintos niveles de riesgo, según pueda o no producir lesión. En general, postura, frecuencia, duración, y fuerza puesta en juego en la actividad son los factores más comunes (ver Tabla 4).

Se ha elegido el método OCRA, que presenta las siguientes ventajas: buen predictor del riesgo, proporciona análisis detallado de los principales factores de riesgo, considera todas las tareas del puesto para dar una valoración global del riesgo. La herramienta elegida posee un módulo específico para realizar análisis postural con el método RULA. Si unimos RULA al método OCRA, dispondremos de una herramienta más completa con dos métodos de valoración con enfoques complementarios.

El valor de índice está determinado por la suma de los diferentes factores de riesgo que evalúa, ponderado por la duración. Para obtener una valoración del puesto, el resultado del OCRA-CL tiene asociado un nivel de riesgo y actuación (Tabla 5).

Si comparamos la Tabla 5 con la correspondiente con el

método RULA, podemos ver que este último trabaja con una puntuación final de 1 a 7, con 4 niveles de acción.

## 2.2. FASE 2. PROGRAMACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO DE VALORACIÓN EN EL ENTORNO DE SIMULACIÓN 3D

El método OCRA elegido exige el análisis de los tiempos de trabajo, por lo que requiere para su cálculo el tiempo de ciclo de la tarea y los tiempos implicados en cada actividad que interviene en las tareas, siendo necesario por lo tanto, la obtención de los tiempos de las tareas humanas. En un primer paso se han utilizados los datos obtenidos por el propio programa de simulación.

Adicionalmente, el método OCRA requiere el conocimiento de las posturas adoptadas por el propio operario durante la ejecución de la actividad. La lectura dinámica de dichas posturas obtenidas durante la simulación del puesto de trabajo a medida que éstas se van adoptando o a intervalos pequeños de tiempo, aunque se postula como solución más reseñable, fue descartada desde el inicio al no permitir el programa *Delmia*® la ejecución de Macros externas a la simulación durante la ejecución de la simulación.

OCRA-CL	RIESGO	ACCIÓN
Hasta 7,5	Aceptable	No necesaria
7,6 – 11	Muy Leve	Se recomienda un nuevo análisis o mejora del puesto
11,1 – 14	Leve	Se recomienda mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento
14,1 – 22,5	Medio	Se recomienda mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento
≥ 22,5	Alto	Se recomienda mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento
RULA	RIESGO	ACCIÓN
1-2	Aceptable	No necesaria
3-4	Leve	Se requiere una investigación más detallada
5-6	Medio	Se requiere una investigación más detallada y cambios en el puesto pronto
7	Alto	Se requiere una investigación más detallada y cambios en el puesto inmediatos

Tabla 5: Puntuaciones, riesgo y acción asociada para el método OCRA-CL y RULA

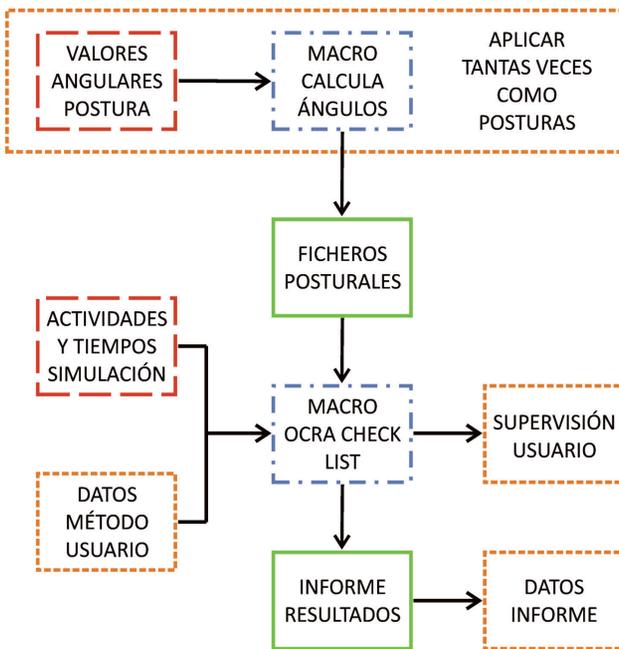


Fig. 2: Diagrama de bloques de la solución desarrollada para el método OCRA-CL

La solución adoptada fue la división de las tareas en actividades lo más pequeñas posibles y con entidad propia, asociando dichas actividades con una o varias posturas identificadas como posturas de riesgo o posturas que más tiempo se mantiene durante las tareas. Para posibilitar la asociación adecuada se hace necesario la creación de una Macro denominada “Cálculo-Ángulos” que favorece la lectura de la simulación de la tarea en el programa *Delmia*<sup>®</sup>,

permitiendo elegir la postura para cada actividad de acuerdo a los principios anteriormente mencionados, pudiendo así guardarla para su posterior uso. Dicha Macro, que deberá ejecutarse para cada una de las posturas que se deseen guardar, permite, una vez seleccionada una postura, obtener los valores angulares de la misma y guardarlos en una hoja *Excel*<sup>®</sup>.

Una vez guardada la postura deseada para cada actividad de la tarea, se deben leer las actividades y sus tiempos asociados del programa *Delmia*<sup>®</sup>, asociar si es relevante una postura a la actividad, para finalmente aplicar el método OCRA-CL. Todas estas funciones las realizará una segunda Macro programada denominada “MacroOCRA”. Esta Macro necesita la participación activa del usuario ya que requerirá información de la tarea y de las diferentes actividades, así como la supervisión de las etapas del mismo.

El diseño y funcionalidad de las dos Macros diseñadas “Cálculo-Ángulos” y “MacroOCRA” se explica en el diagrama de bloques de la Fig. (2). En dicho diagrama se representan los flujos de información mediante las líneas en color negro, la información leída en *Delmia*<sup>®</sup> está destacada en cuadro rojo con línea de trazos rojos, la información leída y guardada en *Excel* en cuadro con línea continua verde, las partes programadas en Visual Basic en cuadro con línea punto y trazos azul, finalmente la información aportada por el usuario en cuadro con línea de trazo corto naranja.

Al ejecutarse la denominada “MacroOCRA”, diseñada para aplicar el método OCRA, ésta lee automáticamente las actividades o procesos del árbol Producto-Proceso-Recurso (PPR) de la simulación generada en el módulo principal Human de *Delmia*<sup>®</sup>. Asimismo, también lee los tiempos de

**Añadir postura previamente guarda en la Macro “Cálculo de Ángulos” para cada actividad de la tarea**

**Muestra la dirección y el nombre de las posturas asociadas a cada actividad**

**Permite al usuario seleccionar el tiempo que aproximadamente se mantiene la postura seleccionada**

**En el caso de que en algunas de las actividades no se realice ninguna actividad durante el ciclo durante un período mayor a cinco segundos, dicha tarea deberá considerarse como de descanso muscular y se podrá marcar en dicho campo para que dicha situación se contabilice en el método**

**Una vez rellenados debidamente todos los campos anteriores podrá continuarse con el método OCRA Lista de Chequeo**

**Permite seleccionar si la postura seleccionada es estática, dinámica, o brusca**

**Número de acciones técnicas realizadas por la mano derecha e izquierda durante la realización de cada actividad**

ACTIVIDAD	TIEMPO CICLO	POSTURA CARGADA	TIEMPO POSTURA	TIPO ACCIÓN MANO DERECHA	TIPO ACCIÓN MANO IZQUIERDA	Nº ACCIONES TÉCNICAS MANO DERECHA	Nº ACCIONES TÉCNICAS MANO IZQUIERDA	TAREA DE RECUPERACION FISIOLÓGICA
Alcanzar Pieza 1	4,051706907	Añadir Postura	No					<input type="checkbox"/> SI
Levantar Pieza 1	6,562	Añadir Postura	No					<input type="checkbox"/> SI
Andar a estanteria 1	1,088097921	Añadir Postura	No					<input type="checkbox"/> SI
Introducir Pieza 1	6,768906166	Añadir Postura	C:\Ficherosmacro\Introducir Pieza Estanteria 1.xls					<input type="checkbox"/> SI
Regresar a cinta 1	4,091344822	Añadir Postura	No					<input type="checkbox"/> SI
DelayActivity.2	18	Añadir Postura	No					<input type="checkbox"/> SI

TIEMPO TOTAL CICLO: 40,56206

Aplicar Método OCRA

Fig. 3: Ejecución de “MacroOCRA”

duración de cada actividad. Esta información se muestra en la Fig. (3) correspondiente a las dos primeras columnas de la pantalla inicial. Además también se muestra en la parte inferior de la pantalla el tiempo total del ciclo, que es la suma de los tiempos de duración de todas las actividades. La Macro está diseñada para leer únicamente actividades del tipo Humano, "HumanActivity", y procesos de pausa o delay, "DelayActivity", por lo que, el programa obviará las actividades de tipo lógico que marcan el comienzo, parada y pausas de la simulación y las de cambio de cámara, que permite generar cambios de cámara para mejorar la visualización de a simulación), entre otras, ya que no son necesarias para la aplicación del método.

Esta pantalla tiene como principal objetivo permitir la asociación de posturas a las actividades, es decir, permitir asociar una postura por cada actividad de la tarea. Las posturas a asociar deben haber sido previamente calculadas y guardadas con la Macro "Cálculo-Ángulos" -Fig. (4)-. Es siempre recomendable que las posturas elegidas sean o bien la postura más crítica desde el punto de vista ergonómico o bien la postura que más tiempo se mantiene durante la actividad, para que así el método se aplique de la forma más conservadora posible, desde el punto de vista ergonómico. No obstante, no es estrictamente necesario asociar a cada actividad una postura, ya que, por ejemplo, para una actividad de andar sin ninguna carga ni restricciones no tiene sentido evaluar la ergonomía. Por tanto, el programa deja a la elección del propio usuario la carga o no carga de la postura asociada a cada actividad dándose por hecho, en el caso de no cargarse, que la postura corporal no presenta complicaciones ergonómicas. La Macro muestra además otra serie de campos como son el tiempo de acción de la

mano derecha y de la mano izquierda, el número de acciones técnicas, etc. -Fig. (3)- que permiten al usuario introducir los datos relativos al método OCRA que se requieren para su funcionamiento.

El cálculo del factor de fuerza es un paso complejo en la aplicación del método OCRA-CL debido a que según el método es necesario evaluar la fuerza en la escala BORG CR-10 lo cual requiere preguntar al operario acerca de su opinión de la fuerza empleada. Resulta evidente que puede ser casi imposible evaluar la fuerza desde un punto de vista subjetivo mediante la simulación en un entorno virtual. Para solucionar esto se da al usuario del programa a elegir entre dos opciones, la primera sigue el método tal y como es, mientras que la opción número 2 aplica el método modificado por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo el cual plantea una evaluación alternativa de la fuerza implicada en la tarea sin necesidad de conocer la fuerza en la escala de BORG. De esta manera se tiene en cuenta el esfuerzo en la realización de la tarea, para su evaluación.

En la pantalla final del método -Fig. (5)- se muestran los resultados de las puntuaciones calculadas de acuerdo con el método OCRA-CL. En esa ventana se muestran los valores calculados para los diferentes factores (1) y el resultado final del método OCRA (2). Para mejorar su comprensión el resultado final se da sobre un fondo cuyo color cambia dependiendo el nivel de riesgo de la tarea, mostrándose además las acciones que el método sugiere en función del riesgo (3).

Finalizada la evaluación, se genera un informe de resultados obtenidos, explotable mediante la aplicación "Microsoft Excel®" mostrando toda la información.

LADO IZDO		CUELLO		LADO DCHO	
Brazo Art.	4,256414	Cuello	8,999998	Brazo Art.	18,34129
Brazo Abd.	4,986334	Cuello Rot.	0	Brazo Abd.	-11,89699
Brazo Rot.	-5,234467	Cuello Lat.	-29	Brazo Rot.	0,610602
Antebrazo	91,13957	TRONCO		Antebrazo	117,2391
Muñeca Pron.	0,2227172	Tronco Art.	1,999999	Muñeca Pron.	61,6969
Muñeca Art.	7,45936	Tronco Lat.	0	Muñeca Art.	-70
Muñeca Desv.	-11,88266	Tronco Tor.	0	Muñeca Desv.	-29,98162
Hombro Elev.	-5,593581	LUMBAR		Hombro Elev.	19,10429
Hombro Rot.	1,272028	Lumbar flex.	0	Hombro Rot.	37,54181
		Lumbar Lat.	0		
		Lumbar Rot.	0		

Fig. 4: Datos calculados y guardados con la Macro "Cálculo-Ángulos"

RESULTADOS MÉTODO OCRA CHECKLIST	
FACTOR DE RECUPERACIÓN	0
FACTOR DE FRECUENCIA	0
FACTOR DE FUERZA	0
FACTOR DE POSTURA	0
FACTORES ADICIONALES	0
MULTIPLICADOR DE DURACIÓN	0

ÍNDICE CHECK LIST DE OCRA: 0

ACCIÓN SUGERIDA: No se requiere

SALIR      Generar Informe

Fig. 5: Resultados finales de "MacroOcro"

### 2.3. FASE 3: APLICACIÓN EN EL ENTORNO DE SIMULACIÓN 3D DE DISEÑO PROCESO

Se ha utilizado la aplicación desarrollada en el puesto de trabajo que se muestra en la Fig. (6). La tarea consistiría en recoger las piezas que llegan a dicho puesto en la cinta transportadora y almacenarlas adecuadamente en la estantería.

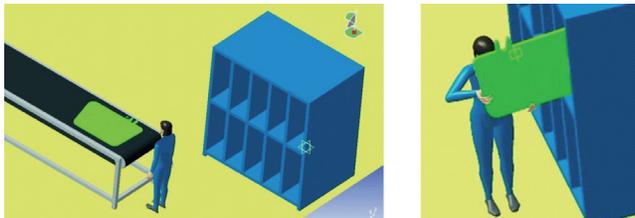


Fig. 6: Entorno de simulación 3D de diseño de proceso utilizado en la fase 3

Para el diseño de las actividades que definen el proceso ha de tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para la mejor aplicación del método OCRA-CL diseñado, la tarea que compone el trabajo deberá dividirse en las tareas más cortas y sencillas posibles, tareas elementales, en las que la postura adoptada no varíe radicalmente. Se tiene que tener en cuenta que el programa creado requiere asociar cada actividad con su postura más crítica o la que más tiempo se mantiene durante la misma.
- Se estudiará el puesto con dos percentiles distintos: percentil 95 hombre y percentil 5 mujer, de este modo cubrimos casi toda la población que puede trabajar en el puesto.
- Para tener en cuenta la diferencia de alturas entre las

baldas de la estantería se considerará que un ciclo de la actividad está compuesto por la colocación de una pieza en el estante superior seguido de colocar una segunda pieza en el estante inferior.

### 2.4. FASE 4: VALIDACIÓN DE REQUERIMIENTOS Y RETORNO DE EXPERIENCIAS

Finalmente se evalúa el comportamiento de la aplicación desarrollada en un entorno real de diseño de proceso, respecto a los requerimientos establecidos, comparando además el método implementado con los métodos que están integrados en la herramienta comercial y evaluando la estimación de tiempos que dicha herramienta realiza con respecto al método de tiempo predeterminados MTM-2.

## 3. RESULTADOS

La utilización de las Macros programadas no dio ningún problema en la ejecución de diseño y estudio del proceso de trabajo en el puesto planteado en la Fig. (6). Para la puesta en práctica de la aplicación se dividió la tarea de trabajo en cinco actividades -Fig. (7)- y que son las siguientes: (1) alcanzar pieza, (2) levantar pieza, (3) girar, (4) desplazamiento a contenedor, (5) introducir pieza en contenedor (parte superior y parte inferior).

Se realizaron las simulaciones y los análisis para los percentiles 95 hombre y 5 mujer, obteniendo una valoración máxima de 5,5 puntos para el método OCRA-CL ( $\leq 7,5$ : Riesgo aceptable, no se requiere modificación del puesto de trabajo).

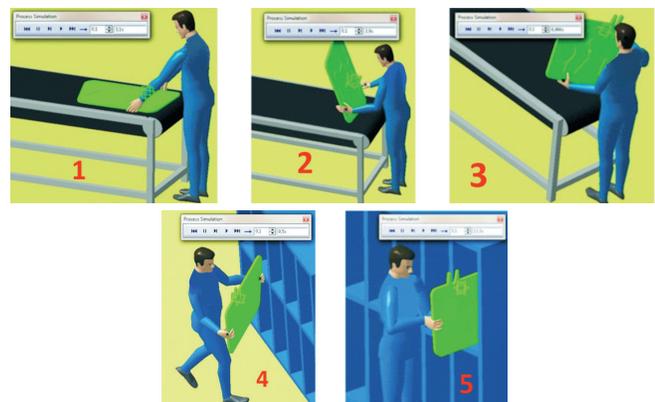


Fig. 7: Descomposición de la tarea en actividades, en la imagen percentil 95 hombre

De forma paralela se evaluaron las posturas mediante el método RULA disponible en el módulo HUMAN® del programa de simulación Delmia®. El análisis RULA del puesto dio como valoración máxima 5 (Se requiere una investigación más detallada y cambios en el puesto pronto). Los resultados obtenidos por el método Lista de Chequeo de OCRA indican valores de riesgo menores que los obtenidos

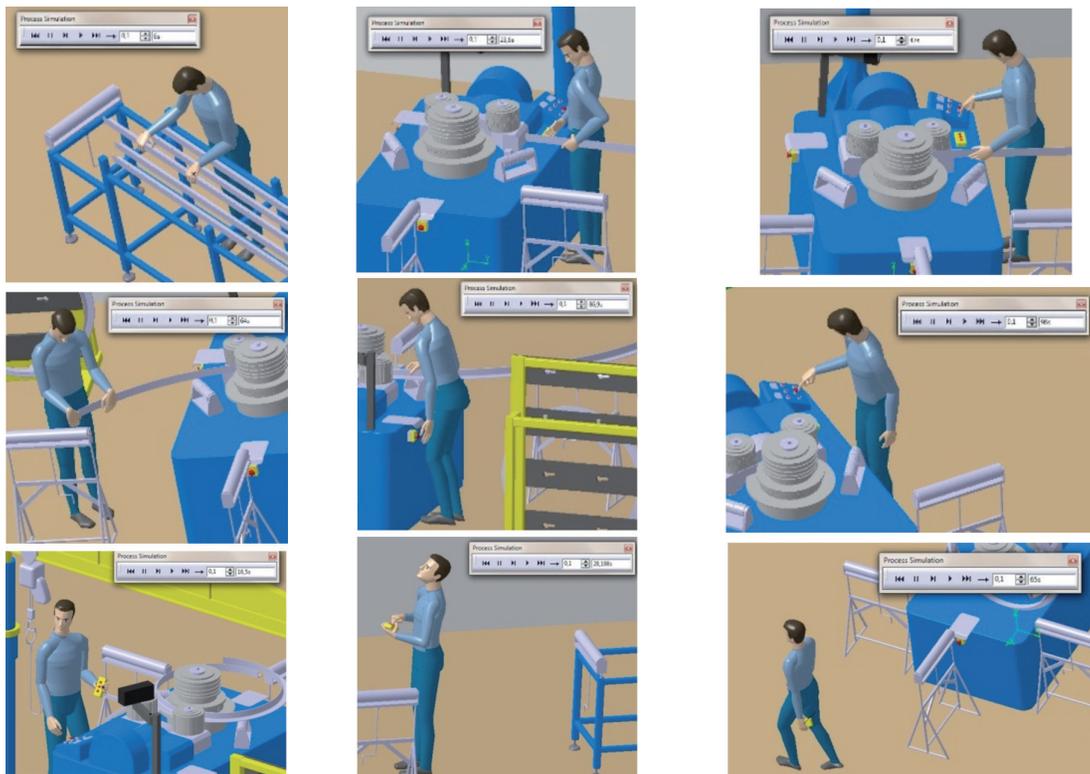


Fig. 8: Evaluación mediante RULA y OCRA-CL de un puesto de doblado de tubos, en la imagen percentil 95 hombre

mediante el método RULA. Para el método OCRA-CL la postura es aceptable y para el método RULA existen posturas que ergonómicamente deberían mejorarse e investigarse más a fondo, además, el valor medio estimado nos muestra que el resultado medio del análisis RULA es de aproximadamente 3,5, siendo este valor orientativo y útil para poder comparar mejor ambos métodos, lo cual significaría que la tarea debería investigarse de manera más detallada.

Estas diferencias se deben al tratamiento del tiempo de exposición y de los tiempos de recuperación que en el método RULA se aplican. En la mayoría de actividades del análisis, las posiciones extremas obtenidas con el análisis RULA se mantienen durante periodos de tiempo muy pequeños.

En la Macro que aplica el método OCRA-CL se utilizaron los tiempos calculados por Delmia®. Se debe puntualizar que Delmia® no incluye dentro de sus módulos dedicados para el diseño y análisis ergonómico ningún sistema para el cálculo del tiempo estándar mediante algunos de los estándares comentados en este artículo. Para ello habría que recurrir a otro paquete de software de la misma compañía denominado Delmia® *Process-Engineer*. Delmia® calcula los tiempos que duran cada uno de los movimientos, lo que el programa denomina *Calculated Cycle Time*, aunque no lo realiza mediante ningún estándar.

Por lo tanto, con el objetivo de garantizar que los tiempos proporcionados por Delmia® son correctos, se plantea un análisis en el que se simulan cada una de las posiciones consideradas por el método MTM-2. De esta manera se

comparar los tiempos dados por Delmia® con los de dicho estándar y, en el caso de que las diferencias sean significativas, calcular aproximadamente el error o desviación de la medida de tiempos que produce el programa. Para esta tarea se simulan en el entorno y la situación más simple posible los movimientos MTM-2. En los resultados obtenidos se observa un error aproximado menor del 10% en la estimación de tiempos, siendo dicho error tanto menor cuanto mayor sea la distancia implicada en el movimiento.

Junto al primer ejemplo mostrado, la aplicación desarrollada se ha utilizado para la valoración de un puesto de doblado, con el objetivo de validar el diseño de recursos y la altimetría general del puesto. La actividad desarrollada en el puesto de trabajo -Fig. (8)- se ha dividido en dos tareas (carga de material y proceso de doblado en máquina, y evacuación de producto terminado con ayuda mecánica). Se procedió al análisis RULA y OCRA-CL de ambas por separado, y finalmente, mediante las consideraciones de los autores del método OCRA en el caso de la existencia de varias tareas durante una jornada laboral, se valoró el riesgo en el puesto de trabajo. Previamente al análisis con el método OCRA-CL se realizó un análisis RULA cada 0,1 segundos de la simulación, para seleccionar las posturas de mayor riesgo ergonómico. De este análisis se seleccionaron 30 posturas con niveles de valoración final RULA de 6 a 4. Los resultados del método OCRA-CL para las 2 tareas fueron 7,4 y 5,7 respectivamente, si tenemos en cuenta un coeficiente de ocupación del 47% para la primera tarea y un 53% para

la segunda, el índice OCRA-CL global será de 6,5 (no se requiere modificación del puesto de trabajo).

#### 4. CONCLUSIONES

Los creadores del método OCRA conocen y comentan la dificultad de implementar dicho método de forma automática, no conociéndose ningún intento por incluir dicho método en un entorno virtual de diseño de proceso. El trabajo presentado ha conseguido implementar satisfactoriamente el método OCRA-CL en el *software* de simulación Delmia®, permitiendo realizar un análisis de los riesgos de lesiones músculo-esqueléticas debidas a trabajos repetitivos.

Asimismo, la solución desarrollada y adoptada con la elaboración de las Macros descritas, muestra una mejora en la herramienta comercial, y marca una línea de trabajo orientada hacia la mejora continua. Conjuntamente con la participación activa del evaluador, permite mejorar y acelerar el conocimiento de los métodos aplicables tanto en lo correspondiente a la medida de tiempos, como a la evaluación de evaluación ergonómica en el puesto de trabajo.

El método OCRA-CL debido a su forma de operación tiene en cuenta los tiempos de descanso de las actividades y las actividades en las que no se realizan actividades que requieran carga postural de las extremidades superiores. Esas actividades permiten, en mayor o menor medida, dependiendo de su tiempo de mantenimiento, el descanso fisiológico del operario. Este descanso no es tenido en cuenta por el método RULA; por tanto, en RULA una actividad peligrosa desde el punto de vista postural, pero que tiene un descanso muscular suficiente, obtendrá una puntuación ergonómicamente mala. Sin embargo, si el tiempo de descanso es suficiente el método OCRA compensará la mala puntuación postural obteniéndose resultados que quizá reflejan con mayor realismo la peligrosidad real de la actividad respecto a la posibilidad de producir lesiones músculo-esqueléticas.

Las limitaciones de la aplicación generada son las propias del método OCRA-CL; se trata de un método aplicable si el trabajo es repetitivo, siendo necesario un análisis con mayor detalle si los movimientos que conlleva el trabajo son idénticos y durante una parte importante de conjunto de la tarea. Así mismo se trabaja con ángulos posturales generadas mediante simulación, factor que debe ser controlado para asegurar que la postura simulada es lo más próxima a la que el operario realizaría en un entorno real. Como ya se ha comentado los tiempos utilizados son una aproximación generada por el propio programa de simulación, con un error que debe tenerse en cuenta.

La generación de esta aplicación completa los módulos de evaluación ergonómica de la herramienta de simulación elegida, permitiendo un análisis con un enfoque fundamentalmente postural (mediante el método RULA), y otro más centrado en las tareas con un índice alto de repetitividad (mediante OCRA). De este modo, el método RULA es un método que permite evaluar una determinada

postura de manera precisa, pero no tiene en cuenta la duración temporal de las posturas en relación al conjunto de las tareas, ni los periodos de recuperación de la tarea. Por otro lado, el método OCRA-CL tiene en cuenta estas dos circunstancias, lo que hace que ambos métodos se complementen.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bäckstrand G, Möller S, Högberg D, et al. "A roadmap towards cost calculation methods connected to ergonomics analysis & simulation", En: Proceedings 37th Annual Conference Nordic Ergonomic Society (Oslo 2005). ISBN: 82-995747-1-4.
- [2] Ministerio de Empleo y Seguridad Social. "Estadística de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales". 2010.
- [3] Eurofound (2012), Fifth European Working Conditions Survey, Publications Office of the European Union, Luxembourg. <http://dx.doi.org/doi:10.2806/34660>
- [4] US Bureau of Labor Statistics. Nonfatal occupational injuries and illnesses requiring days away from work. Economic News Release 2010 Edition.
- [5] McAtamney L, Corlett E. "RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders". Applied Ergonomics. April 1993. Vol.24-2 p.91-99. [http://dx.doi.org/doi:10.1016/0003-6870\(93\)90080-5](http://dx.doi.org/doi:10.1016/0003-6870(93)90080-5)
- [6] Karhu O, Kansi P, Kuorinka I. "Correcting working postures in industry: a practical method for analysis". Applied Ergonomics. December 1977. Vol.8-4 p.199-201. [http://dx.doi.org/doi:10.1016/0003-6870\(77\)90164-8](http://dx.doi.org/doi:10.1016/0003-6870(77)90164-8)
- [7] AENOR. Seguridad de las máquinas. Comportamiento físico del ser humano. Parte 5: Evaluación del riesgo por manipulación repetitiva de alta frecuencia. UNE-EN 1005-5. Madrid: AENOR, 2007.
- [8] Occhipinti E. "OCRA: A concise index for the assessment of exposure to repetitive movements of the upper limb". Ergonomics. September 1998. Vol.41-9 p.1290-1311.
- [9] ISO. Ergonomics-Manual handling Part 3: Handling of low loads at high frequency. ISO 11228-3. Ginebra: ISO, 2007.
- [10] Oficina Internacional de Trabajo de Ginebra (O.I.T). Introducción al estudio del trabajo. G. Kanawaty. 4th Ed., Ginebra: OIT, 2006. 522p. ISBN: 92-230710-89.
- [11] Niebel BW, Freivalds A. Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo. 11ª Edición. Mexico: Ed. Alfaomega, 2004. 728p. ISBN: 97-015099-35. PMCid:523376
- [12] González AL, Ruiz MA. "Modelo de diseño ergonómico para puestos de trabajo en PYMES. Caso práctico de estudio en Barranquilla Colombia". DYNA Ingeniería e Industria. Agosto 2011. Vol.86 p.456-466. <http://dx.doi.org/10.6036/3942>
- [13] Arenas JM, García M, Sebastián MA, et al. "Diseño de sistemas productivos y mejora de su eficiencia mediante técnicas de realidad virtual". DYD Dirección y Organización. Abril 2010. Vol.40 p.60-66.
- [14] Waterson P, Kolose SL. "Exploring the social and organisational aspects of human factors integration: a framework and case study". Safety Science. April 2010. Vol.48-4 p.482-490 <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.ssci.2009.12.018>
- [15] Hignett S, McAtamney L. "Rapid entire body assessment (REBA)". Applied Ergonomics. April 2000. Vol.31 p.201-205. [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-6870\(99\)00039-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00039-3)
- [16] Instituto de Biomecánica de Valencia, Comisiones Obreras, Unión de Mutuas. Evaluación de riesgos de lesión por movimientos repetitivos. Valencia: Instituto de Biomecánica de Valencia, 1996. 78p. ISBN: 84-921210-1-7.