

Métodos de evaluación y herramientas aplicadas al diseño y optimización ergonómica de puestos de trabajo

Alberto Sánchez Lite, Manuel García García, Miguel Ángel Manzanedo del Campo

Área de Organización de Empresas. Dpto. de Ingeniería Civil. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Burgos. Avenida de Cantabria s/n, 09006, Burgos aslite@ubu.es, mggarcia@ubu.es, msanz@ubu.es.

Resumen

El presente artículo presenta una revisión de los distintos métodos de evaluación ergonómica que se utilizan en el diseño de puestos de trabajo, las herramientas de simulación, así como una aplicación en un modelo 3D

Palabras clave: diseño, ergonomía, puesto de trabajo

1. Introducción

En 1949, K. F. H. Murrell, en su libro *Ergonomics* creó el término “ergonomía”, que deriva de las palabras griegas *ergos*, (trabajo) y *nomos*, (leyes naturales, conocimiento o estudio). Literalmente se traduce como “estudio del trabajo”. Con esta denominación se agrupan conocimientos médicos, psicológicos, técnicos, fisiológicos, industriales y militares. Por lo tanto se puede definir la ergonomía como la ciencia del trabajo, que elimina las barreras que se oponen a un trabajo humano seguro, productivo y de calidad, mediante el adecuado ajuste de productos, tareas y ambiente de trabajo.

Los primeros estudios sobre esta ciencia datan del siglo XVI, sin embargo su aplicación se potenció tras la segunda guerra mundial cuando los cambios sociológicos propiciaron la evolución de los métodos de trabajo y con ello la necesidad de introducir estudios ergonómicos para mejorar las condiciones del mismo.

Algunos de los factores que han provocado la necesidad de considerar aspectos ergonómicos en el trabajo son:

- Mayor edad útil del trabajador
- Cambios en los valores de las personas
- Desarrollo de la tecnología
- Globalización de la competencia

Este último punto es cada vez más importante. Las empresas intentan dotar sus fábricas de puestos de trabajo ergonómicos, de manera que aseguren la salud de sus empleados.

2. Objetivos

El objetivo principal de este artículo es entender qué se conoce con el término de ergonomía. Hasta ahora se ha comentado que la ergonomía es una ciencia, que se encarga de estudiar el comportamiento de las personas para adecuar los productos, sistemas y puestos de trabajo a las características de las mismas.

Pero, ¿Cómo realiza esto? ¿En qué se basa para conseguirlo? Estas son algunas de las preguntas principales a las que se va a intentar dar respuesta:

- Se va a realizar un estudio respecto a la metodología y herramientas que se encargan de cuantificar los riesgos de sufrir lesiones músculo-esqueléticas en la actualidad. Este se va a clasificar en dos grandes grupos atendiendo a si hace referencia a métodos que se basan directamente en la observación y a los que precisan de aparatos de medida para la toma y registro de datos.
- Se explicará cada método, qué factores de riesgo son los que mide y su modo de aplicación.
- Se comentarán brevemente algunos de los lugares en los que tiene cabida la ergonomía para ver su uso final en la empresa. Esto dará lugar a uno de los usos principales de la ergonomía en la misma, como es el diseño y determinación de la línea y puestos de montaje, de manera que se consiga asegurar la salud y seguridad, tanto física como mental, de los operarios que van a realizar su trabajo en ellas.
- Para realizar estos diseños las empresas se basan en programas de simulación y de diseño. Para ver cuales son los principales que existen en el mercado mundial, se realizará una pequeña comparativa donde se podrán observar cuales son las características que presentan cada uno de ellos, así como los beneficios que pueden proporcionar.
- Por último, se expondrá una breve conclusión en la que se verá si se han cumplido los objetivos propuestos.

3. Métodos de evaluación ergonómica.

Una de las muchas clasificaciones existentes acerca de los métodos ergonómicos presentes en la actualidad es aquella que les clasifica en métodos directos y métodos indirectos.

Una breve definición de los mismos es la que se recoge a continuación:

Los métodos indirectos se basan en la observación. Para su aplicación utilizan los datos obtenidos por un ingeniero u operario a pie de campo, que se encarga de observar directamente los movimientos y acciones desarrolladas por el operario en la realización de su trabajo. Algunos de los métodos que se encuadran bajo este nombre serían: RULA, OWAS, NIOSH, LEST, REBA, OCRA, BULA...

Estos métodos presentan como desventaja principal la falta de precisión y la gran variabilidad inter e intra observacional.

Por el contrario presentan una serie de ventajas que merece la pena destacar y que deben ser tenidas en cuenta:

- Económicas
- No interrupción del trabajo
- Pueden aplicarlos personas sin conocimientos previos
- Escasa cantidad de materiales utilizados

Los métodos directos son aquellos que precisan de diferentes aparatos y equipos electrónicos para la captura de datos que servirán para evaluar las posturas y movimientos que adoptan los trabajadores a la hora de realizar sus trabajos, determinando de esta manera, el grado de riesgo al que se encuentran expuestos. Entre las técnicas más comunes que se incluyen en estos métodos destacan:

- Electro-miografía
- Electro-goniometría
- Goniometría
- Digitalización de imágenes



Figura 1: Equipo Electro-miográfico

Estos presentan una serie de ventajas como son:

- Precisión
- Exactitud
- Contenido Informativo

Como desventaja se podría destacar la gran cantidad de información que se recoge con estas técnicas, lo que dificulta la interpretación de la misma.

A continuación se aborda con mayor detenimiento parte de la metodología expuesta anteriormente, mostrando sus fundamentos y su modo de aplicación.

3.1. Métodos Indirectos

3.1.1 RULA (Rapid Upper Limb Assessment)

RULA es un método de estudio desarrollado para ser usado en investigaciones ergonómicas de puestos de trabajo, donde existe la posibilidad de producirse lesiones por esfuerzos repetitivos en miembros superiores. Este método fue desarrollado por Mc Atammey y Corlett (1993) para investigar la exposición de los trabajadores a los factores de riesgo asociados con el desarrollo de Desórdenes Traumáticos Acumulativos. Para evaluar la exposición a factores de riesgo, el método utiliza diagramas de posturas del cuerpo y tablas de puntuaciones para evaluar y cuantificar las posturas adoptadas. Los factores de riesgo evaluados en este método son:

- Repetición de movimientos
- Trabajos musculares estáticos
- Fuerzas
- Posturas de trabajo.

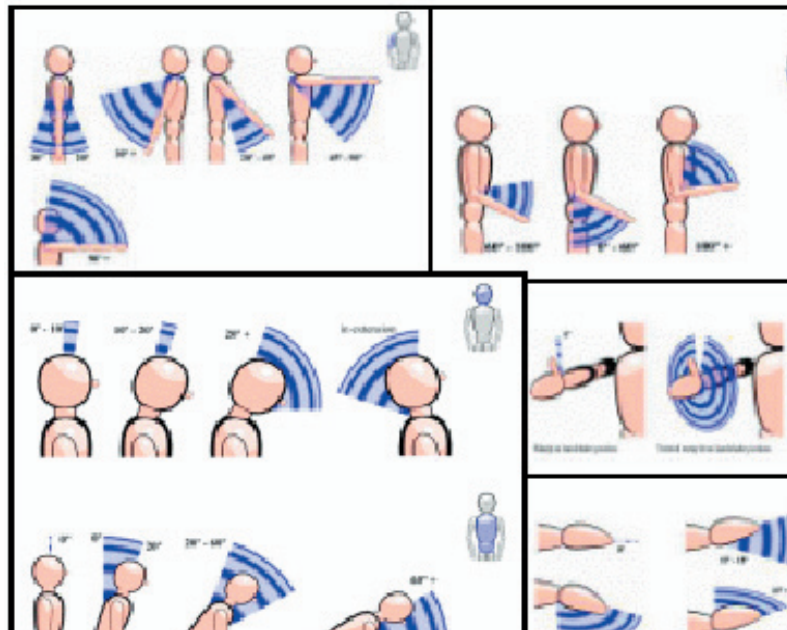


Figura 2. -Diagrama postural RULA

Una vez obtenido el valor RULA éste se sitúa entre uno de los cuatro niveles posibles de acción:

Nivel 1. Una puntuación de 1 ó 2, indica que la postura es aceptable.

Nivel 2. Una puntuación de 3 ó 4 significa que se requiere realizar una investigación más detallada.

Nivel 3. Una puntuación de 5 ó 6 indica que nuevas investigaciones y cambios deben realizarse pronto.

Nivel 4. Una puntuación de 7 indica que las nuevas investigaciones y los cambios deben ser inmediatos.

3.1.2 REBA (Rapid Entire Body Assesment)

Este método fue desarrollado en Nottingham en el año 2000 por Hignett y Mc Atamney para estimar el riesgo de padecer desórdenes corporales relacionados con el trabajo. Es un método de reciente aparición y está en fase de validación.

Se trata de un nuevo sistema de análisis, que incluye factores de carga postural dinámicos y estáticos, la interacción carga-persona y un nuevo concepto que tiene en cuenta lo que denomina “gravedad asistida” para el mantenimiento de la postura de las extremidades superiores.

El método REBA pretende:

- Desarrollar un sistema de análisis postural para riesgos músculo-esqueléticos en diferentes tareas.
- Dividir el cuerpo humano en diferentes segmentos según los planos de movimiento.
- Suministrar un método de puntuación para la actividad muscular, generado mediante posturas estáticas, dinámicas, inestables o por cambios rápidos de la posición.
- Reflejar la interacción o conexión entre la persona y la carga.

- Incluir una variable de agarre para evaluar la manipulación manual de cargas.
- Establecer unos niveles de acción, según la puntuación obtenida con un nivel de urgencia.

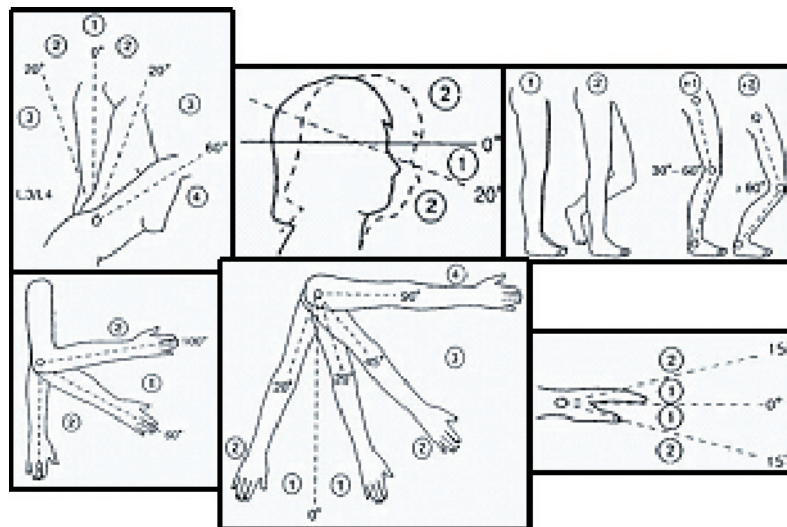


Figura 3. Diagrama postural REBA

La puntuación final REBA se encontrará comprendida entre 1 y 15, lo que indicará el riesgo que supone desarrollar la tarea y los niveles de acción correspondientes en cada caso:

- *Nivel de acción 0*: la puntuación REBA será de 1, con lo que el nivel de riesgo es inapreciable.
- *Nivel de acción 1*: la puntuación REBA está comprendida entre 2 y 3, con lo cual el nivel de riesgo es bajo.
- *Nivel de acción 2*: la puntuación REBA está comprendida entre 4 y 7, el nivel de riesgo es medio y es necesaria una intervención y análisis posterior.
- *Nivel de acción 3*: la puntuación REBA está comprendida entre 8 y 10, el nivel de riesgo es alto y es necesaria una rápida intervención y análisis posterior.
- *Nivel de acción 4*: la puntuación REBA está comprendida entre 11 y 15, el nivel de riesgo es muy alto y la intervención debe ser urgente e inmediata, requiere además, un análisis posterior.

3.1.3 Ecuación de NIOSH (National Institute For Occupational Safety And Health)

El National Institute for Occupational Safety and Health desarrolló en 1981 una ecuación para evaluar el manejo manual de cargas. Su intención era crear una herramienta que identificará los riesgos de lumbalgias asociados a la carga física a la que estaba sometido el trabajador, y recomendar un peso límite para cada tarea en cuestión. En 1991 se revisó esta ecuación introduciendo nuevos factores: manejo asimétrico de cargas, duración de las tareas, la frecuencia de los levantamientos y la calidad de agarre.

La ecuación NIOSH fue revisada nuevamente en el año 1994, determinando que el límite de peso recomendado (LPR) para el levantamiento de cargas se obtiene del producto de siete factores, siendo además el índice de levantamiento, el cociente entre la carga levantada y el límite de peso recomendado para esas condiciones.

$$\text{Índice de Levantamiento} = \frac{\text{Carga Levantada}}{\text{Límite Peso Recomendado}}$$

Ecuación 1. -Fórmula para calcular el índice de levantamiento

$$LPR = LC * HM * VM * DM * AM * FM * CM$$

Ecuación 2.- Fórmula de la ecuación NIOSH revisada en 1994

Con:

LC: constante de carga;
 HM: factor de distancia horizontal;
 VM: factor de altura;
 DM: factor de desplazamiento vertical;
 AM: factor de asimetría;
 FM: factor de frecuencia;
 CM: factor de agarre

Según los valores del índice de levantamiento se pueden considerar tres zonas de riesgo:

- *Riesgo limitado* cuando el índice de levantamiento es menor que 1. La mayoría de los trabajadores podrían realizarlo sin sufrir riesgos.
- *Incremento moderado del riesgo* con un índice comprendido entre 1 y 3. Algunos trabajadores pueden llegar a sufrir daños o lesiones.
- *Incremento acusado del riesgo* para índices superiores a 3. Esta tarea es inaceptable y debe ser modificada.

3.1.4 OWAS (Ovako Working Posture Analysis System)

Este método fue desarrollado en la industria del acero finlandesa en la década de los años setenta y se ha aplicado, también con éxito, en el análisis de tareas en el sector minero, aserraderos, ferrocarriles...

El método surgió por la necesidad de identificar y evaluar posturas inadecuadas de trabajo. El proyecto para mejorar estas posturas se desarrolló gracias a las fotografías tomadas en los puestos de trabajo sobre las posiciones de los empleados.

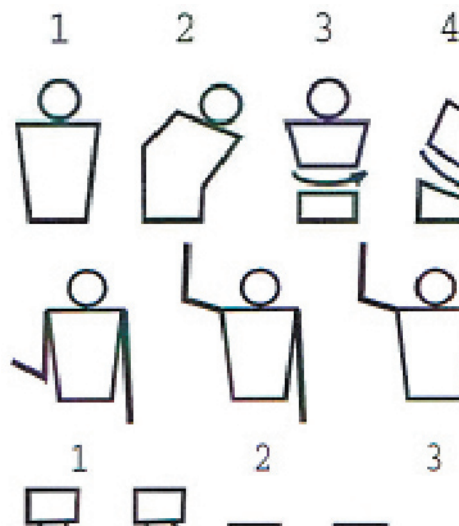


Figura4.- Diagrama postural OWAS

Al igual que en métodos anteriores según la puntuación obtenida se obtiene una acción a realizar, y con ella una prioridad mayor cuanto mayor sea el nivel de la acción:

- *Nivel 1.* Postura normal sin efectos dañinos. No requiere acción.

- Nivel 2. Postura con posibilidad de causar daño. Requiere acciones futuras correctivas.
- Nivel 3. Postura con efectos dañinos. Requiere acciones correctivas lo antes posible.
- Nivel 4. La postura ejerce efectos sumamente dañinos. Requiere acciones correctivas inmediatas.

De esta manera, se resume una pequeña parte de la metodología existente dentro de este amplio grupo.

3.2. Métodos directos

Mediante la utilización de las técnicas presentes en este grupo, el responsable de su manejo adquiere una gran cantidad de datos que son utilizados para informar de las situaciones de riesgo en las que se puede llegar a encontrar el operario, así como el grado de fatiga muscular al que se encuentra sometido, o las fuerzas presentes en su jornada laboral.

A continuación se muestran dos de las técnicas más utilizadas en ambientes clínicos, procesos de rehabilitación, ergonomía, investigación en medicina deportiva y en biomecánica deportiva.

3.2.1 Electro-goniometría:

Es una técnica que evalúa la carga postural basándose en el estudio de los ángulos de los distintos segmentos corporales.

Para su realización se precisa de un aparato, electro-miógrafo, que a su vez consta de otra serie de elementos como son: una galga distal y una galga fija, el sensor y los cables conectores. Elementos que se pueden observar en la figura adjunta.

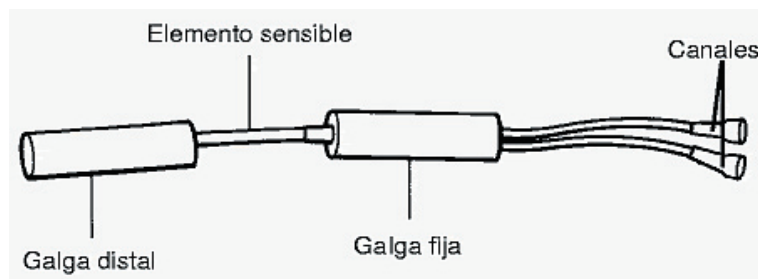


Figura 5.- Partes de las que consta un electro-goniómetro

La correcta aplicación de esta técnica consta de cuatro etapas:

- Blanco: esta fase consiste en medir una señal neutra. Se coge cada uno de los goniómetros y se colocan en una superficie del cuerpo en posición neutra, es decir sin medir un ángulo determinado. De esta manera se obtiene información para hallar la diferencia entre el valor medido por el goniómetro y el valor real.
- Ubicación: Esta etapa consiste en colocar los goniómetros en las articulaciones a medir.
- Grabación: Consiste como su nombre indica en el registro y grabación o recopilación de datos. Para que los recopilados sean fiables, en primer lugar, se debe comprobar que el goniómetro se encuentra calibrado. Otro aspecto importante antes de comenzar la grabación es la determinación de la frecuencia de muestreo.
- Procesado numérico: consiste en emplear diferentes técnicas numéricas para extraer la información útil de las señales captadas.

3.2.2 Electro-miografía

Se trata de una técnica utilizada para diagnosticar algunas patologías que afecten al Sistema Nervioso Periférico. Consiste fundamentalmente en el registro y análisis de la actividad eléctrica que se genera en los nervios y en los músculos.

Los aparatos necesarios para su utilización son: electrodos de superficie, aguja y un aparato que consta de estimulador, amplificador, pantalla digital y registro gráfico.

La técnica a grandes rasgos consiste en insertar un electrodo en un músculo o situarlo sobre la piel; el registro se visiona en un osciloscopio. De esta forma se miden las señales musculares causantes de la fatiga muscular. Otro de sus usos consiste en monitorizar movimientos anormales involuntarios o alteraciones centrales de la motricidad.

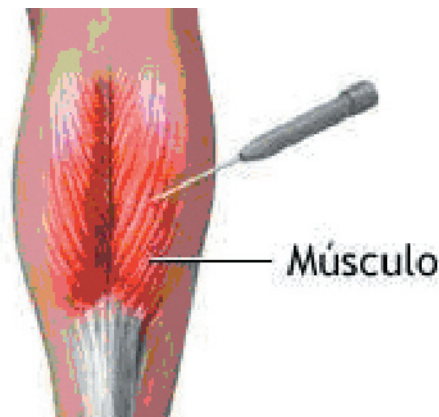


Figura 6. Técnica electro-miográfica

4. Programas de simulación

Como se ha comentado a lo largo del artículo, tanto unos métodos como otros son utilizados por centros médicos, por mutuas, investigaciones médicas, por ergónomos y cada vez más, por la propia empresa, quien los emplea para determinar la seguridad de sus trabajadores, así como para el diseño adecuado de los puestos de trabajo donde se va a desarrollar la actividad laboral.

Para realizar este diseño, la empresa utiliza, además de los equipos de medida directos, programas de simulación 3D. Muchos de estos programas se basan principalmente en el diseño, y mediante unos determinados módulos o paquetes, permiten realizar estas simulaciones. Estas son realizadas en un entorno avanzado CAD, por los denominados maniquís. Estos son capaces de realizar sus tareas y de esta forma corregir los errores si fuese necesario.

Los análisis o estudios ergonómicos, son realizados por la computadora, basándose en diversos métodos indirectos (RULA, NIOSH, OWAS...). Para ello utilizan datos antropométricos, fuerzas y posturas del maniquí. Lo más complicado de estos programas es determinar la postura probable que adoptará el maniquí a la hora de realizar su trabajo dentro del amplio número de posturas posibles. Para resolver este problema, la mayoría utiliza un algoritmo que limita los grados de libertad del maniquí.



Figura 7. Maniquís

A continuación se puede observar una pequeña tabla comparativa donde se pueden ver diversos programas basados en simulaciones.

Programas de diseño y simulación 3D	SAFEWORK	CATIA	DELMIA	DIVISION	RAMSIS in eM-HUMAN	JACK & JILL	3D SSPP
Beneficios:							
<input type="checkbox"/> Incremento de la productividad	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<input type="checkbox"/> Reducción de tiempos de diseño	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<input type="checkbox"/> Reducción de costes	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<input type="checkbox"/> Mejora de la calidad de los productos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Módulos del programa:							
<input type="checkbox"/> Editor medidas del maniquí	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<input type="checkbox"/> Análisis de posturas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<input type="checkbox"/> Análisis de actividades:							
• RULA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
• NIOSH 81/91	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
• SNOOK & CIRIELLO 1991	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
• OWAS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
• BURANDT-SCHULTETUS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<input type="checkbox"/> Análisis y simulación de tareas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<input type="checkbox"/> Campo de visión	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<input type="checkbox"/> Ropa	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<input type="checkbox"/> Detección de la colisión	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Simulaciones en tiempo real (VR)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Animaciones de las simulaciones y movimientos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Aplicaciones:							
<input type="checkbox"/> Diseño	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<input type="checkbox"/> Fabricación	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<input type="checkbox"/> Mantenimiento	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<input type="checkbox"/> Entrenamiento	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<input type="checkbox"/> Interior del automóvil	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<input type="checkbox"/> Entretenimiento	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 1. Comparativa Software Simulación Basados en diseño 3D

En ella se realiza una comparativa en cuanto a los beneficios que se obtienen con cada programa, así como las aplicaciones que permite realizar y los diferentes módulos de los que consta el programa.

Merece la pena destacar que cada programa utiliza unos métodos de medida indirectos diferentes. Esto es debido al país de origen del programa y a la legislación o normativa vigente en cada

parte del mundo, que establece un método como más fiable que otro.

A la vista de las prestaciones que proporcionan estos programas a las empresas, al incluir los factores humanos dentro ellos, se puede afirmar que con ellos se consigue:

- Asegurar el cumplimiento de importantes estándares de seguridad y salud
- Reducir los tiempos en los diseños de montaje
- Mejorar la satisfacción de los trabajadores
- Optimizar los lugares y puestos de trabajo
- Incrementar la productividad.

Como complemento a los datos obtenidos en los análisis realizados con estos software de simulación, existen otra serie de programas, no basados en diseño CAD como los anteriores, sino en métodos de medida directos, que permiten la comparación de los mismos para su consecuente validación. Algunos de estos programas son los que se muestran en la siguiente tabla, y han sido desarrollados tanto por el IBV (Instituto de Biomecánica de Valencia) como por la Universidad de Michigan.

Sistemas de evaluación ergonómica del IBV y la Universidad de Michigan	Ergo/IBV	ErgoDir/IBV	ErgoEMG/IBV	ErgoPose/IBV	ErgoMov/IBV	EEPP
Beneficios:						
<input type="checkbox"/> Aumenta la seguridad del trabajador	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<input type="checkbox"/> Reduce costes	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<input type="checkbox"/> Aumenta la productividad	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<input type="checkbox"/> Diseña el puesto de trabajo a la medida del trabajador		✓				✓
Características del sistema o programa:						
<input type="checkbox"/> Recoge y registra diferentes posturas y posiciones	✓	✓		✓	✓	✓
<input type="checkbox"/> Requiere únicamente de un programa informático			✓	✓	✓	
<input type="checkbox"/> Necesita un programa informático y material externo						
Aplicaciones:						
<input type="checkbox"/> Evaluación de tareas sobre manipulación de cargas	✓		✓			✓
<input type="checkbox"/> Evaluación de tareas repetitivas de los miembros superiores	✓				✓	✓
<input type="checkbox"/> Evaluación de tareas con posturas forzadas	✓		✓			✓
<input type="checkbox"/> Evaluación de tareas en puestos de oficina				✓	✓	
<input type="checkbox"/> Sirve para la medida y registro de la inclinación y desviación de ciertos segmentos corporales				✓	✓	
<input type="checkbox"/> Evaluación y diseño del puesto de trabajo para un tipo de persona u otra		✓				

Tabla 2. Comparativa Software no basados en diseño 3D

5. Aplicación Métodos Rula y NIOSH mediante Simulación 3D

Conjuntamente con la revisión de herramientas y métodos de evaluación ergonómicos se ha modelizado mediante herramientas de simulación 3D distintos puestos de trabajo para estudios posturales (método RULA) y de manejo de cargas (NIOSH).

Con DELMIA V5 podemos llevar a cabo dicho análisis de una manera rápida y sencilla. Este

programa es un software 3D que se emplea para realizar simulaciones ergonómicas de puestos de trabajo, líneas de montaje.

Las simulaciones de DELMIA V5 se realizan mediante maniqués virtuales (pudiendo emplear hombres y mujeres), que representan los operarios de la vida real, realizando las diversas actividades laborales de sus estaciones de trabajo.

Como se ha comentado anteriormente el método RULA permite la posibilidad de estudiar las dos mitades corporales, estableciendo una serie de cuatro niveles posturales de acción.

El método NIOSH establece los límites de carga teniendo en cuenta criterios biomecánicos, fisiológicos y psicofísicos. Su aplicación de forma manual es compleja ya que supone tener que calcular todos los factores que intervienen en la ecuación, concretamente siete. Para una aplicación más sencilla, y más exacta, el módulo de análisis ergonómico de DELMIA V5 incluye este método.

Para llevar a cabo su aplicación se debe partir de una secuencia de levantamiento que se haya diseñado previamente. Realizada dicha secuencia debemos establecer una posición inicial de levantamiento, y una posición final del mismo, como se observa en la figura adjunta.

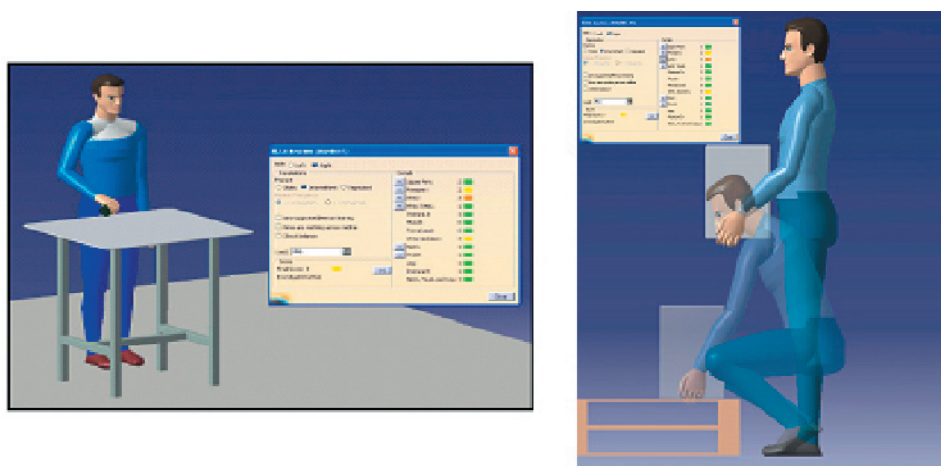


Figura 8. Simulación Basados en diseño 3D (Método RULA y Método NIOSH).

6. Conclusiones

El propósito de este artículo ha sido, por tanto, dar a conocer a grandes rasgos en que consiste la ergonomía; cuales son algunos de los métodos que utiliza para realizar sus análisis, mediante los que determina la conducta y las actividades de las personas, con el fin de adecuar los productos, sistemas y puestos de trabajo a las características, limitaciones y necesidades de los usuarios, buscando optimizar su eficacia, seguridad y confort. Así como dar a conocer algunas de las técnicas y programas que utilizan las empresas para realizar los estudios ergonómicos mediante los que consigue el correcto diseño de los puestos de trabajo.

Una vez revisada parte de la metodología existente, para lo que fue necesaria una búsqueda intensiva de los principales métodos de medida ergonómicos, se comprobó que la mejor manera de utilizar estos métodos en el diseño de puestos de trabajo es mediante un aproximación híbrida experimentación simulación 3D. Los programas 3D proporcionan grandes ventajas, ya que permiten aumentar su productividad, asegurar estándares de seguridad, aumentar la confianza de sus trabajadores, y con todo ello mejorar la imagen y prestigio frente a competidoras.

Como complemento a estos programas es conveniente que las empresas utilicen otra serie de programas no basados en simulaciones, sino que se encarguen de la toma y registro de manera directa de datos y medidas, que sirvan para comprobar las informaciones obtenidas con los primeros, así como proporcionar otra adicional como puede ser, por ejemplo, la carga muscular a la que se encuentran sometidos los operarios durante su jornada laboral.

De esta manera se puede afirmar que las herramientas de medición ergonómicas presentes en los diversos programas, no son sólo utilizadas por los centros médicos, sino que son usadas también por los ingenieros de producción de las empresas en el diseño de los puestos de trabajo, consiguiendo de esta manera una seguridad mayor en las mismas.

Referencias

Falcone, D.; De Felice, F. (1996). Employment of technics of simulation for the optimization of the materials flow and of the lay-out in a plant for the production of industrial vehicles. In Proceedings of the 8th European Simulation Symposium, Vol. 1, pp. 277-283.

McAtamney, L.; Corlett, E.N. (1993). RULA: A Survey Method for the Investigation of Worked-Related Upper Limb Disorders. *Applied Ergonomics*, Vol. 24, No. 2, pp. 91-99.

Hignett, S.; McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment: REBA. *Applied Ergonomics*, Vol. 31, No 2, pp. 1-15.

Warters, T. V.; Putzanderson, A G. (1994). Applications manual for the revised NIOSH liftin equation. National Institute for Occupational Health, Cincinnati, Ohio.