

Captura y evaluación



tridimensional del movimiento humano en puestos de trabajo

SISTEMA HADA

de análisis y diseño asistido

En este artículo se presenta el sistema HADA (Herramienta de Análisis y Diseño Asistido), dirigido al análisis de riesgos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo en condiciones reales y al diseño de puestos de trabajo. Este novedoso sistema de evaluación ergonómica es fruto de un desarrollo conjunto del Grupo ID ERGO del I3A de la Universidad de Zaragoza y el Instituto de Ergonomía MAPFRE, S. A.

Por **ANTONIO M. ALFONSO LÓPEZ**. Instituto de Ergonomía MAPFRE, S.A. email: aalfonso@inernermap.com

El objetivo del sistema HADA es la captura y análisis tridimensional del movimiento humano en puestos de trabajo. Se basa en la utilización sensores inerciales de movimiento para su posterior transposición a modelos biomecánicos tridimensionales. Es un sistema portátil que está compuesto por un conjunto de sensores de movimiento alojados en una chaqueta instrumentalizada que se coloca el trabajador, con una interferencia mínima, y un *software* para captura y análisis de movimiento. La información proporcionada por los sensores durante la captura en campo, en combinación con un *software* de animación 3D, permiten reproducir el movimiento del trabajador en un modelo biomecánico para la posterior evaluación ergonómica de los riesgos musculoesqueléticos derivados de la actividad realizada.

En la actualidad existen diferentes sistemas muy avanzados para la captura de movimiento [1]. No obstante, la mayoría son de uso restringido a condiciones de laboratorio, con un coste elevado y altos requisitos de capacitación de los profesionales que los utilizan.

Se ha conseguido un sistema portátil de bajo peso, altas prestaciones y fácil utilización. Para la captura del movimiento en las condiciones en que se realiza el trabajo, se precisa únicamente de la colocación de una chaqueta que incorpora los sensores, una PDA que recopila la información suministrada por los sensores y una cámara de vídeo, que puede colocarse sobre un trípode o ser portada por el técnico durante la filmación.

En una versión más avanzada puede optarse por integrar una cámara con lentes calibradas. Con esta configuración, a través de fotogrametría es posible re-

construir en tres dimensiones el puesto de trabajo y conocer con precisión los aspectos dimensionales del puesto, lo cual es de gran ayuda ya que no es necesario hacer ninguna medición en el puesto de trabajo (fig. 1).

Una vez realizada la captura, la información recogida en campo se procesa mediante un *software* con el cual se consigue visualizar el movimiento resultante sobre un modelo biomecánico (hombre o mujer), cuya antropometría se puede variar de forma automática para simular y analizar los riesgos para diferentes percentiles de población. También se puede realizar el estudio tridimensional del movimiento y un análisis biomecánico, así como aplicar métodos de evaluación ergonómica incorporados en el *software*.

En resumen, el sistema HADA se ha diseñado con el propósito de permitir la captura de movimiento en el propio puesto de trabajo y está dirigido a técnicos de prevención de riesgos laborales que realizan estudios de campo, facilitándoles la elaboración de los estudios ergonómicos correspondientes y la valoración del riesgo.

El sistema se ha aplicado con éxito en el diseño y rediseño de puestos de trabajo.

Captura de movimiento en entornos reales

Los «modelos virtuales» que parecen imitar los movimientos y los gestos de los seres humanos se han desarrollado gracias a una herramienta clave: la captura

de movimiento «Motion Capture», que en adelante se denomina MoCap [2]. Los sistemas MoCap están siendo ampliamente utilizados por numerosas compañías en el ámbito del modelado en tres dimensiones, animación virtual y aplicaciones cinematográficas.

También son de aplicación en el campo de la medicina del deporte y en la rehabilitación.

En el caso del equipo HADA se han aplicado los sistemas MoCap con el fin de conseguir, a través del análisis del movimiento, analizar y evaluar los posibles riesgos ergonómicos, y también para facilitar el diseño y rediseño de puestos de trabajo.

En la actualidad se dispone de distintas tecnologías y sistemas MoCap [1,3], pero quizás las más ampliamente utilizadas se basan en métodos ópticos, que utilizan marcadores esféricos reflexivos y cámaras con luz infrarroja capaces de recoger la reflexión de los marcadores. Son sistemas muy avanzados que permiten incluso la captura de movimientos faciales.

Generalmente, este tipo de sistemas están restringidos al uso en condiciones de laboratorio, con un elevado número de cámaras (típicamente entre 4 y 8) dispuestas convenientemente y con sistema de calibración apropiados, lo que les distancia en ocasiones de las situaciones reales de trabajo. Los tiempos de captura suelen ser elevados y necesitan de operadores altamente preparados en su funcionamiento, especialmente para eliminar posibles errores derivados de oclusión de los marcadores durante la filmación.

El sistema HADA, basado en sensores inerciales de movimiento, ha logrado superar en gran medida las limitaciones de los sistemas basados en visión, lo que permite la toma de información en campo en tiempo real y no basada en la simulación de las tareas. Este diseño, además, es totalmente portable y de fácil utiliza-



Figura 1. Componentes de campo del sistema HADA.

HADA se dirige a técnicos de prevención de riesgos laborales que realizan estudios de campo, facilitándoles el estudio ergonómico y la valoración del riesgo

ción. Y, por último, hace amable y sencillo el trabajo posterior de tratamiento y explotación de la información recopilada en campo.

Tecnología de los sensores inerciales de movimiento

Los sensores inerciales utilizados en el equipo están alojados en una chaqueta instrumentalizada, que el técnico coloca al sujeto que desempeña el trabajo. Cada sensor se ubica en posiciones predefinidas en el cuerpo para permitir la posición espacial de cada articulación en tiempo real (fig 2).

En el sistema HADA se han utilizado sensores de movimiento que integran

sensores inerciales y magnéticos que proporcionan como salida tres ángulos de rotación respecto a un sistema de coordenadas global, junto con las aceleraciones lineales de los tres ejes y sus correspondientes aceleraciones angulares.

Los sensores seleccionados se ajustan a los requerimientos de portabilidad y básicamente suministran tres grados de libertad, en concreto las tres rotaciones en el espacio. Esta elección ha facilitado la gestión de los datos recopilados, ya que no se requieren unidades de procesamiento del tamaño de un PC de sobremesa.

La información generada por cada sensor, es enviada mediante una conexión inalámbrica *bluetooth* a una PDA que los almacena con los datos capturados (fig.3).

Descripción del hardware del sistema

El sistema HADA incluye los siguientes elementos:

- **Kit** de sensores de movimiento inerciales. La configuración mínima es de cinco sensores, pero la recomendable es de siete sensores y la máxima de 15, cubriendo este último caso la totalidad de los segmentos corporales.

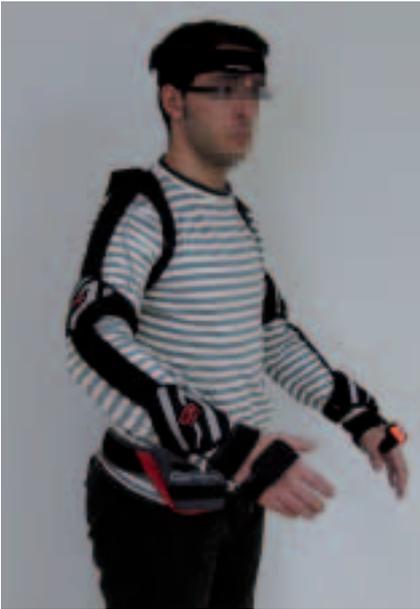


Figura 2. Sensores inerciales y su posible colocación en el cuerpo.



Figura 3. Detalle del concentrador que se comunica vía *bluetooth* con una PDA. Colocación en el cuerpo.



Figura 4. Chaqueta instrumentalizada y elementos de fijación de los sensores.

- Un concentrador o unidad de comunicación a la cual se conectan los sensores por cable y que transmite los datos vía *bluetooth* a la PDA.
- Chaqueta instrumentalizada específicamente diseñada para albergar los sensores con ciertos elementos de fijación adicionales (fig.4).
- PDA que incluye un *software* que permite iniciar y parar la captura; durante este proceso registra en un fichero la información suministrada por los sensores.
- Cámara de vídeo, comercializada como estándar en el mercado de gran consumo, para filmar la actividad del trabajador, y que posteriormente se podrá sincronizar con la captura de movimiento.
- Otros elementos necesarios para las tareas de campo, como trípode o bolsas para el transporte y baterías adicionales para la cámara de vídeo o la unidad de comunicación.

Para la evaluación de puestos de trabajo los sensores se ubican normalmente en las extremidades superiores haciendo uso de la chaqueta instrumentalizada, pero si en algún caso se desea analizar las extre-

El sistema emplea sensores de movimiento inerciales y magnéticos alojados en una chaqueta instrumentalizada que se coloca el trabajador

midades inferiores se pueden suministrar ciertas fijaciones adicionales para su colocación en las piernas.

Se puede optar por una configuración que incluye una o dos cámaras calibradas, que con un *software* de fotogrametría específico permite reconstruir con precisión los detalles dimensionales del puesto.

El resultado es un conjunto de elementos que configuran un sistema completo de captura de movimiento aplicable en entornos reales de puestos de trabajo.

Descripción del *software* del sistema HADA

El *software* del sistema HADA incluye un conjunto de funciones para la captu-

ra de movimiento que se han implementado sobre un programa de animación en tres dimensiones de propósito general Poser4 [4].

Las funciones para trasladar a un modelo biomecánico la información captada por los sensores se sintetizan en:

- Importación de movimiento y aceleraciones de sensores. En este proceso se puede optar por diferentes modos de importar el movimiento de los sensores, que a su vez dependerá de la configuración por éstos utilizada:
 - Si se dispone de siete sensores o más, ya que será posible colocar sensores tanto en la extremidad superior como inferior. Por ejemplo, se pueden fijar cuatro sensores en las piernas, uno en la pelvis y el resto en tronco, cabeza y/o brazos.
 - Si se elige la colocación de los sensores en los brazos, el *software* calculará de forma automática la posición de las piernas por cinemática inversa y aplicando ciertas reglas de movimiento que son parametrizables.
- Sincronizar el movimiento con el vídeo. Una vez importado el movimiento y trasladado al modelo virtual, se pue-



Age Fotostock

de sincronizar el movimiento con el vídeo de las imágenes de fondo. Esta tarea está muy automatizada y, por lo tanto, se ha simplificado significativamente en relación con la versión anterior.

Análisis del movimiento

Una vez que el movimiento del trabajador se ha reconstruido y ajustado la antropometría del modelo virtual convenientemente, se puede acceder al módulo de análisis del movimiento, con el cual se obtiene la cinemática del movimiento del sujeto: ángulos de los segmentos corporales en cada instante, así como posiciones, velocidades y aceleraciones, tanto de translación como de rotación.

De cada segmento corporal del modelo virtual se podrá visualizar gráficamente la variación de ciertos parámetros a lo largo de los distintos *frames* (fotogramas) de la filmación realizada, así como obtener un informe impreso. En concreto, se podrá observar, dentro del rango de imágenes o *frames* que se desee, la variación de los siguientes parámetros:

Una vez que el sistema ha recreado los movimientos en tres dimensiones, se pueden aplicar los métodos de evaluación ergonómica NIOSH, REBA y OCRA

- Ángulos de las articulaciones en relación con los planos biomecánicos y ángulos de rotación propia de cada segmento.
- Aceleraciones, velocidades y posiciones.
- Desplazamientos del centro de gravedad del cuerpo y de los extremos de brazos y piernas. Y las velocidades y aceleraciones de dichos desplazamientos.

Análisis de aceleraciones

Si se ajusta la antropometría del modelo virtual a las dimensiones del trabajador observado, entonces los desplazamientos que se pueden medir corresponderán a valores reales, y haciendo uso

del módulo de análisis de movimiento se puede estimar las aceleraciones de ciertas partes del cuerpo, tales como las manos o la cabeza.

No obstante, se puede tener una medida más precisa de las aceleraciones si se utiliza la información suministrada por los sensores, ya que éstos disponen de acelerómetros, y por ello la medida con precisión de las aceleraciones, que junto con los inclinómetros permiten estimar la orientación del sensor en cada momento.

Para el análisis de aceleraciones se han desarrollado un conjunto de funciones implementadas sobre una hoja de cálculo que permiten visualizar las variaciones de los distintos parámetros de aceleración sincronizados con el movimiento del actor virtual y el vídeo filmado en campo.

Evaluación ergonómica.

Análisis REBA, NIOSH Y OCRA

Una vez recreado el movimiento en tres dimensiones se dispone de toda la información relativa a alturas, alcances, posición de los diferentes segmentos corporales, etc. Por lo tanto, introduciendo algunos parámetros tales como la fuerza aplicada, los pesos manejados o la frecuencia de los movimientos, se está en condiciones de aplicar diferentes métodos de evaluación.

Se puede aplicar la ecuación de NIOSH [5,6] para la evaluación de tareas de manejo manual de cargas contenida en la norma UNE-EN 1005-2:2004; el método REBA [7,8] para analizar los riesgos musculoesqueléticos derivados de la postura de trabajo; o el método OCRA para la evaluación de movimientos repetidos de las extremidades superiores detallado en la norma ISO 11228-3:2007 [9].

Al rediseñar un puesto de trabajo, con objeto de mejorar las condiciones del mismo (fig.5), rápidamente se puede obtener la nueva evaluación del riesgo. De esta forma, se pueden proponer mejoras junto con la correspondiente previa evaluación ergonómica.



Figura 5. Diseño para diferentes percentiles.

Los informes correspondientes a cada método de evaluación elegido se generan en formato MS Word. El usuario puede seleccionar las posturas y los datos (resultados obtenidos, gráficas, resumen estadístico, etc.) que desea trasladar a cada informe. Esto facilita la labor del técnico, ya que únicamente tiene que completar el informe estándar con las conclusiones y recomendaciones que estime oportunas, mientras que el resto de datos del estudio son cumplimentados automáticamente.

Fotogrametría

El sistema HADA se puede complementar con un *software* de fotogrametría que se denomina PhotoModeler [10]. A continuación se explican algunas de las

funciones que amplían las posibilidades del sistema, especialmente en lo relativo al rediseño de puestos de trabajo.

Fotogrametría de la escena

El *software* de fotogrametría permite realizar una reconstrucción de la escena en tres dimensiones a partir de un conjunto de fotos tomadas del puesto de trabajo (fig.6 y 7).

Fotogrametría de la antropometría del trabajador

Si se utiliza el módulo de fotogrametría se tiene la posibilidad de medir ciertas dimensiones antropométricas del trabaja-

dor. Para ello bastará con realizar dos fotos al trabajador, preferiblemente de posición en cruz.

Posteriormente, y siguiendo un sencillo procedimiento, se podrán medir con precisión ciertas referencias como las indicadas en la figura. A partir de esas referencias se podrá establecer la altura del trabajador y la longitud de sus brazos.

Simulación de propuestas de mejora

El sistema HADA es especialmente útil para analizar posibles propuestas de mejora. Para ello, el conjunto de funcionalidades anteriormente expuestas se po-

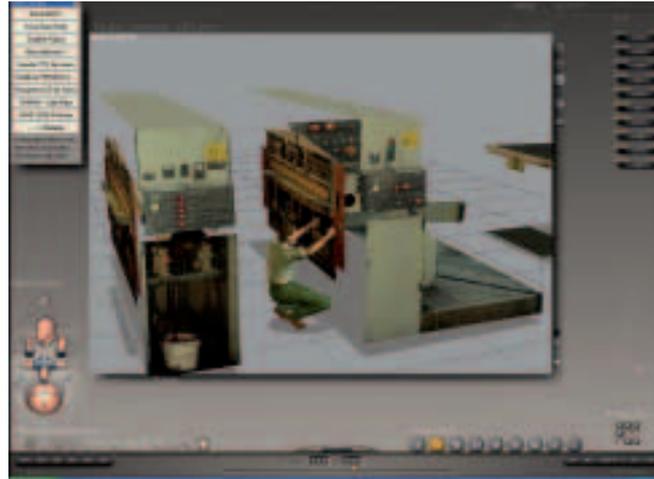


Figura 6. Escena importada en Poser4. Posteriormente se puede integrar el actor virtual o el real según interese, además de poder visualizar diferentes ángulos de la escena.



Figura 7. Visualización de la animación desde distintos puntos de vista seleccionables.



Figura 8. Simulación de la situación actual y propuestas de mejora.

drán utilizar y activar después de modificar cierta disposición de los elementos que integran el puesto de trabajo.

El análisis del movimiento resultante permitirá observar la bondad de las diferentes propuestas. De esa forma, se podrá analizar el impacto de las modificaciones de las condiciones de trabajo, de forma previa a la implementación física de las mismas (fig.8).

En resumen, combinando los módulos de análisis de movimiento, evaluación ergonómica y fotogrametría, se podrán simular y proponer mejoras del puesto de trabajo, acompañadas del correspondiente análisis de movimiento y de la nueva evaluación ergonómica resultante.

Conclusiones

El sistema HADA en su versión actual permite la captura de movimiento por medio de una chaqueta instrumentalizada con sensores inerciales para la captura de los movimientos, combinada con un conjunto de funcionalidades implementadas sobre un *software* de simulación y animación en tres dimensiones, permitiendo recrear sobre un modelo biomecánico el movimiento del sujeto observado.

Sus características de portabilidad y facilidad de uso lo hacen especialmente idóneo para su utilización en entornos reales, habiendo sido probado con éxito

en puestos de trabajos industriales y actividades deportivas.

Si bien los sistemas ópticos tienen rendimientos excelentes en condiciones de laboratorio, en general no son apropiados en entornos reales, en particular en entornos industriales donde los problemas de oclusión de los marcadores por obstáculos que no se pueden evitar con frecuencia lo hacen inviables de utilizar; sin contar su dudosa portabilidad o los problemas inherentes a que el trabajador tenga que llevar una ropa especial o que requiera la colocación muy precisa de marcadores. El sistema HADA permite «ver y medir» incluso lo que el observador no ve en el proceso de campo.

El sistema se ha diseñado pensando en todo momento en su facilidad de uso en campo, por su portabilidad y operativa de funcionamiento, así como para simplificar al máximo el posterior procesamiento de la información en la oficina. El resultado es un sistema realmente portable y ágil a la hora de obtener resultados para el análisis, aportando una precisión en la toma de datos muy superior a la que el técnico tenía que asumir por la visión directa o sobre vídeo.

Dado el conjunto de funcionalidades descritas, este sistema facilita la labor del técnico en prevención de riesgos laborales, ya que proporciona información relevante sobre las posturas y movimientos del sujeto, aporta fiabilidad en las mediciones realizadas y permite la aplicación de métodos de evaluación reconocidos. Además, posibilita una aplicación sencilla y rápida en sujetos con diferentes dimensiones antropométricas, a la vez que concede la oportunidad de comparar diferentes propuestas de mejora.

La integración con otras aplicaciones, como la fotogrametría, que permite la reconstrucción de la escena en tres dimensiones a partir de unas fotos del puesto de trabajo, facilitan el diseño y rediseño del puesto de trabajo, aportando la evaluación de riesgos previa a su implantación. ♦

PARA SABER MÁS

- | | | |
|--|---|--|
| <p>[1] www.peakperform.com; www.qualisys.se; www.simi.com; www.vicon.com</p> <p>[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Motion_capture</p> <p>[3] INITIATION. http://initiation.co.uk/initiation/products.php</p> <p>[4] POSER. Curious Labs. http://graphics.smithmicro.com/</p> <p>[5] NIOSH. Work practices guide for manual handling. Technical report nº 81122. US Department of Health and Human Services. Na-</p> | <p>tional Institute for Occupational Health, Cincinnati, Ohio, 1981.</p> <p>[6] Waters, Putz-Anderson, Garg. «Application Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation», U.S. Department of Health and Human Service - Centers for Disease Control and Prevention, 1994.</p> <p>[7] Hignett, S. and McAtamney, L. Rapid Entire Body Assessment: REBA Applied Ergonomics, 31, 201-5, 2000.</p> <p>[8] NTP 601 Evaluación de las</p> | <p>condiciones de trabajo: carga postural. Método REBA (Rapid Entire Body Assessment). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, España.</p> <p>[9] ISO 11228-3:2007. Ergonomics. Manual handling. Part 3: Handling of low loads at high frequency.</p> <p>[10] PhotoModeler. http://www.photomodeler.com/</p> <p>[11] INERMAP. www.inermap.com</p> |
|--|---|--|