

HADA/Move-Human: Sistema portátil para captura y análisis tridimensional del movimiento humano en puestos de trabajo



JOSÉ MANUEL ÁLVAREZ ZÁRATE
Área de Ingeniería. Instituto de Ergonomía MAPFRE, S. A.

JAVIER BASCUAS HERNÁNDEZ
Departamento de Prevención. Opel España de Automóviles, S. A.

JAVIER MARÍN ZURDO, JOSÉ MARÍA MARTÍNEZ MONTIEL,
RICARDO ROS MAR
Universidad de Zaragoza

SUMARIO

El sistema que aquí se presenta se ha diseñado con el propósito de permitir la captura del movimiento en el propio puesto de trabajo. Mediante este sistema es posible realizar un análisis tridimensional del movimiento (medida de ángulos, alturas, velocidades, aceleraciones, entre otros), facilitando el análisis ergonómico correspondiente y la valoración de los posibles riesgos derivados.

HADA/Move-Human se caracteriza por capturar el movimiento del sujeto trasladándolo a un modelo virtual biomecánico (en adelante denominado Human) de antropometría similar al operario observado, a partir de la filmación de su actividad en el puesto de trabajo por medio de una cabeza de estéreo-visión.

Palabras clave: Ergonomía, biomecánica, antropometría, sistemas de captura de movimientos.

INTRODUCCIÓN

Durante milenios la reproducción de la figura humana ha motivado un gran interés y, aunque inicialmente se limitó a representaciones bidimensionales del cuerpo, ya en el Renacimiento se planteó un cambio de visión al introducir el estudio de la perspectiva y la luz, añadiendo una tercera dimensión a su representación, si bien de una manera aún estática. El advenimiento de la fotografía, el cine y la televisión no sólo añadieron profundidad y realismo a las representaciones del cuerpo, sino que además permitieron reproducir su movimiento completamente. Sin embargo, tal vez el avance más innovador en este sentido lo constituyó el ordenador, permitiendo crear personajes con condiciones de iluminación y texturas muy reales, casi con vida propia. Pronto se les dio el nombre de «modelos virtuales» a este tipo de figuras, que parecían imitar los movimientos y los gestos de los

seres humanos. Detrás de este medio creativo y científico existe una herramienta clave: la captura de movimiento (*Motion Capture*), que en adelante denominaremos *MoCap*.

La captura de movimiento tiene dos modos de utilización. El primero es el denominado modo en tiempo real, el sistema es usado para trasladar los movimientos de un actor a un modelo virtual en tiempo real. El otro uso es el denominado modo de grabación, que consiste en la grabación de las escenas deseadas en el estudio o laboratorio para su posterior tratamiento y edición. Este último modo es el que se utiliza en el equipo que nos ocupa.

Las técnicas de captura de movimiento (*MoCap*) reducen de forma significativa el esfuerzo necesario para producir animaciones tridimensionales complejas. Hasta el momento se han desarrollado varias técnicas *MoCap* con el objetivo de conseguir, incluso, la captura de movimientos faciales. Las técnicas más novedosas y probablemente más atractivas están basadas en métodos ópticos.

Dentro de los sistemas *MoCap*, basados en tecnologías ópticas, existen dos tipos: sistemas activos, que utilizan marcadores de LED pulsados, o sistemas pasivos, también llamados reflexivos porque utilizan marcadores reflexivos (generalmente esféricos reflectantes o mediante otro sistema de material reflexivo).

Se utilizan videocámaras sincronizadas, esto es, todas las cámaras toman las imágenes sincronizadamente durante la grabación para lograr el correcto seguimiento del movimiento de los marcadores colocados en las articulaciones del cuerpo del actor, y se requieren dos cámaras para capturar zonas parciales del cuerpo, o de 4 a 16 (o más) cámaras para la captura del cuerpo completo.

Los sistemas activos emisores se basan en la recepción directa por la cámara de la emisión infrarroja de los LEDs. Los sistemas reflexivos o pasivos utilizan (aunque no siempre) emisores de luz infrarroja montados en las cámaras y éstas recogen la reflexión de los marcadores.

El proceso de funcionamiento es relativamente sencillo. Primero se ubican marcadores sobre las articulaciones y los puntos principales de movimiento del actor. Las posiciones de los marcadores son tomadas por varias cámaras simultáneamente y son computadas por triangulación para obtener sus posiciones 3D reales fotograma a fotograma, generando así un conjunto de datos de movimiento. Esta información se transfiere a un

personaje tridimensional, previamente modelado en el ordenador.

Si no se utiliza un número suficiente de cámaras para el tipo de movimiento que se desea capturar, se tiene el problema derivado de la oclusión o superposición de estos marcadores, errores en falsas reflexiones o pérdida de aquéllos.

En la actualidad, los sistemas *MoCap* están siendo ampliamente utilizados por numerosas compañías en el ámbito del modelado 3D, animación virtual y aplicaciones cinematográficas. Las razones son obvias: los sistemas *MoCap* permiten obtener un modelo 3D computerizado del movimiento humano, en consecuencia es posible manipular dicho modelo de múltiples formas: girarlo, aumentar su tamaño, observar detalles desde cualquier ángulo o incorporarlo a otros escenarios 3D. Todo ello proporciona múltiples campos de aplicación, pero no sólo en el ámbito de la animación virtual, sino también en campos como la Medicina e Ingeniería.

En Medicina, en concreto en el campo de la rehabilitación, su uso está muy extendido para el tratamiento de lesiones del tren inferior. En Ingeniería el uso de *MoCap* es esencial en el desarrollo de productos ergonómicos, garantizando su correcto uso y favoreciendo posibles cambios rápidos durante el desarrollo.

HADA/Move-Human es un sistema *MoCap* que está dirigido básicamente

En la actualidad los sistemas MoCap están siendo ampliamente utilizados por numerosas compañías en el ámbito del modelado 3D, animación virtual y aplicaciones cinematográficas.

a la ergonomía del trabajo, con el propósito de permitir, a través del análisis del movimiento de un sujeto en el puesto de trabajo, evaluar los posibles riesgos ergonómicos derivados de su actividad y también para el diseño y rediseño del puesto de trabajo.

Teniendo en cuenta el contexto y los requerimientos de un sistema *MoCap* para ser utilizado en estudios de campo y en los propios puestos de trabajo, lo que impone ciertas restricciones de uso, se observan las siguientes limitaciones en los sistemas *MoCap* convencionales:

- Los equipos son de muy dudosa portabilidad. Son sistemas ideados y preparados para su uso bajo ciertas condiciones específicas que prácticamente sólo pueden lograrse en laboratorios o estudios preparados a tal efecto y no están dirigidos para el trabajo de campo, lo que dificulta en gran medida su uso en los propios puestos de trabajo.

- Tienen requerimientos elevados en *hardware*, cableado, PC de altas prestaciones, cuatro o más cámaras, trípodes para las cámaras y focos, etc., que lógicamente no facilitan su transporte, montaje y desmontaje.

- Elementos, algunas veces aparatosos, de calibración de las cámaras, como los utilizados en algunos de estos sistemas que precisan estructuras cúbicas de 2 x 2 m, que no pueden ser situadas en algunos puestos a estudiar.

- La captura del movimiento se basa en el *tracking* (seguimiento) de los marcadores (activos o pasivos) por las distintas cámaras. Un marcador debe ser visualizado en todo momento, al menos, por dos cámaras. Si un marcador se pierde durante un tiempo por algún problema de oclusión, se requerirá realizar un *tracking* manual por parte de un operador experto, que precisará de un tiempo adicional que puede llegar a ser importante.

- Si no hay cuatro o más cámaras existen frecuentes problemas de visibilidad de los marcadores. Con dos, incluso tres cámaras, los problemas de ocultaciones u oclusiones son muy importantes si se desea capturar el movimiento del cuerpo entero.

- Requieren que el trabajador vista una ropa o dispositivos especiales para que los marcadores puedan ser claramente visibles. Esta restricción sería insuperable en muchos tipos de puestos de trabajo.

- Condiciones de iluminación especiales, difíciles de conseguir fuera del laboratorio.

- Son de coste elevado.

El sistema HADA/Move-Human ha logrado superar la mayoría de estas

dificultades. Se basa en un método óptico de captura de movimiento constituido por un par-estéreo de cámaras digitales que trabajan en modo de grabación con cámaras sincronizadas. Es un equipo portátil, dotado de soporte plegable para las cámaras y ordenador portátil. Provoca una mínima interferencia con el trabajador, no necesitando que vista una ropa especial ni colocar marcadores sobre su cuerpo. El sistema está precalibrado, no precisando realizar un procedimiento de calibración previo a la captura del movimiento. Además, permite asumir la no visibilidad frecuente de determinadas zonas del cuerpo desde ambas cámaras por obstáculos, limitaciones de espacio u otras. El equipo es utilizable en situaciones reales, incluido el entorno industrial.

HARDWARE Y SOFTWARE

El sistema está compuesto por un ordenador portátil (con ratón y fuente de alimentación), una cabeza de estereovisión (compuesta por dos cámaras de fotos digitales, un Hub de conexión y un sistema de anclaje y nivelación) y un trípode con rótula. El software incluye el sistema *MH-Camera* para adquisición de estereovisiones en el puesto de trabajo, el sistema *Move-Human* para captura del movimiento desarrollado en *Python*¹ bajo entorno *Poser4*², Office XP (Word y Excel)³ y sistema operativo Windows XP-Home.



Equipo HADA/Move Human.

CAPTURA DE IMÁGENES

La grabación del movimiento del individuo en situación real se realiza a través de la cabeza de estereovisión que incorpora dos cámaras digitales enlazadas digitalmente con un orde-

El HADA / MOVE-HUMAN es un sistema MoCap que está dirigido básicamente a la ergonomía del trabajo con el propósito de analizar el movimiento de un sujeto en su puesto de trabajo.

nador que graba secuencias de estereovisiones. A partir de la secuencia de estereovisiones se determina la localización tridimensional de puntos de la escena, tanto de aquellos que se mueven durante la filmación (el cuerpo del trabajador, los objetos que manipula, movimiento de máquinas, etc.) como aquellos que no lo hacen (normalmente elementos del entorno). Se puede determinar la localización 3D de estos puntos en distintos instantes de tiempo, pudiendo determinar sus posiciones, velocidades y aceleraciones.

Cada una de las dos imágenes que componen una estereovisión están sincronizadas mediante un circuito integrado incluido en la cabeza, que envía las señales de disparo a las cámaras, de modo que ambas cámaras adquieren pares de imágenes sincronizadas y en instantes de tiempo prefijados y conocidos. La secuencia de estereovisiones adquiridas es grabada en tiempo real en la memoria no volátil del ordenador portátil por medio del módulo de grabación.

La cabeza estereovisión es plegable, lo que facilita su transporte, ocupando aproximadamente la tercera parte de las dimensiones respecto a su envergadura longitudinal cuando está desplegada. Para ello, las cámaras digitales están ubicadas sobre soportes deslizantes que, al desplegarse, permiten posicionar las cámaras a una distancia predefinida desde la posición de transporte a la de uso.

Únicamente se precisa de un enlace digital entre el ordenador y la cabeza estereovisión, lo que simplifica el cablea-

do. La energía necesaria para el funcionamiento de las cámaras se proporciona mediante baterías recargables, las cuales son fácilmente extraíbles para su sustitución.

La cabeza estereovisión dispone de burbujas de nivel a inclinaciones prefijadas, lo que permite estacionar el equipo sobre cualquier trípode con tres giros de forma rápida y precisa.

El módulo de comunicación y grabación, que funciona sobre el ordenador, realiza la grabación de la filmación y la comunicación con la cabeza estereovisión a través de un enlace digital tipo IEEE 1394. Este módulo muestra en tiempo real las estereovisiones capturadas por la cabeza y permite su grabación, a voluntad del operador, en el dispositivo de almacenamiento del ordenador. También permite el ajuste interactivo de los controles de las cámaras, así como organizar las grabaciones. Asimismo, este módulo compensa todos los efectos no proyectivos que tienen los pares de imágenes adquiridos por las cámaras de la cabeza estereovisión. Los parámetros que definen la compensación forman parte de la precalibración de la cabeza estereovisión.

Se desprende de la configuración expuesta que HADA/Move-Human es un sistema de captura de movimiento portátil y compacto, permitiendo la filmación en el propio puesto de trabajo con una mínima interferencia con el trabajador.



Captura de imágenes.

SIMULACIÓN Y ANIMACIÓN 3D

HADA/Move-Human dispone de las funciones de simulación y animación 3D para reproducir adecuadamente el movimiento del trabajador. Una vez ajustadas las posturas claves del *Human* con las correspondientes del trabajador, el resto de posturas intermedias se calcularán por interpolación, de esa forma tendremos un modelo virtual 3D (con las dimensiones antropométricas del sujeto real) que se mueve de forma similar a como lo hace el trabajador a la largo de todos los *frames* de la

¹ Lenguaje de programación *script*, interpretado, interactivo y orientado a objetos.

² POSER es una marca registrada de Curious Labs [1].

³ Windows y MS Office son marcas registradas de Microsoft Corp.

filmación resultante del equipo de estéreo-visión. El sistema permite realizar las siguientes acciones:

– Modificar el sexo y las dimensiones antropométricas del modelo virtual seleccionando distintos percentiles de hombre o mujer. Al modificar las dimensiones del modelo virtual las posturas serán idénticas al modelo original respecto a las posiciones relativas (ángulos) entre los segmentos corporales.

– Generar animaciones virtuales del movimiento en formato tipo AVI (*Audio Video Interleave*) en distintas modalidades:

a) Animación del *Human* superpuesto con el cuerpo real del sujeto, pudiendo elegir como fondo la filmación tomada desde cualquiera de las cámaras del equipo de estéreo-visión.

b) Animación del *Human* sin visualizar el movimiento del sujeto, pudiendo elegir como fondo una foto fija tomada desde cualquiera de las cámaras del equipo de estéreo-visión. Es útil si se ha modificado el sexo o antropometría del sujeto observado.

c) Animación 3D del movimiento del *Human* (sin fondo de imagen real) conjuntamente con el escenario 3D recreado (de los elementos del puesto de trabajo previamente modelados) desde cualquier punto de vista que se desee, haciendo uso de las funciones de *zoom* o giro de las cámaras virtuales disponibles, que podrán estar fijas o móviles a la largo de la animación.

Otras características destacables son:

– No es necesario colocar marcadores sobre el sujeto, ya que utiliza el método de determinación del movimiento por superposición interactiva de un modelo virtual 3D con las imágenes del sujeto observado.

– El sistema informático de modelización 3D permite situar, en coordenadas cartesianas *xyz*, un punto visualizado en cualquier par de imágenes sincronizadas (estéreo-imágenes) resultantes de la filmación del movimiento del sujeto en su puesto de trabajo.

– El punto identificado en ambas fotos de la estéreo-imagen, y en el *frame* (fotograma) deseado, puede corresponder a cualquier punto de la escena del puesto de trabajo (estático o en movimiento) o a cualquier punto de la superficie corporal del trabajador. En consecuencia, se podrán recrear en el entorno virtual 3D tanto los elementos u objetos con los que interactúa el trabajador, así como su movimiento a lo largo de todo el intervalo de tiempo filmado.

– Permite la recreación 3D del entorno del puesto de trabajo. A partir de una estéreo-imagen del puesto de trabajo, preferiblemente sin trabajador, se puede situar en el entorno 3D cualquier punto deseado. Las coordenadas cartesianas *xyz* de dichos puntos se pueden unir fácilmente por rectas o ubicar objetos 3D elementales (cubos, esferas, planos, cilindros u otros), referenciados a esos puntos, con el fin de recrear virtualmente el puesto de trabajo a estudio con el nivel de detalle que se desee. Esta recreación virtual en 3D de la escena o puesto de trabajo no es requerida para posteriormente reproducir el movimiento del trabajador con el modelo biomecánico virtual, pero es conveniente si deseamos modificar la distribución o disposición física de ciertos elementos a efectos de evaluar su impacto desde el punto de vista ergonómico. También es posible importar objetos provenientes de otras aplicaciones para insertarlos en la escena (sillas, mesas, herramientas, etc.).

El sistema informático de modelización 3D permite situar, en coordenadas cartesianas x, y, z, un punto visualizado en cualquier par de imágenes sincronizadas (estéreo-imágenes) resultantes de la filmación del movimiento del sujeto en su puesto de trabajo.

– Si la complejidad de la escena y/o movimiento del trabajador lo aconseja, se puede modificar la posición y altura del sistema de estéreo-visión, y seguir filmando desde una nueva ubicación. Para ello, se deberán situar dos puntos cualesquiera concretos en el entorno 3D, antes y después de cada cambio de ubicación. Las coordenadas de los puntos visualizados desde distintas ubicaciones del equipo de estéreo-visión estarán referenciadas respecto al mismo sistema de coordenadas cartesianas, permitiendo la reconstrucción 3D de escenas complejas cuyos elementos no se pueden visualizar desde una única posición del equipo de filmación por ocultaciones, obstáculos u otros. Se permiten varios cambios de ubicación del equipo durante la filmación.

– El sistema dispone de las funciones necesarias para calcular distancias y ángulos entre distintos puntos identificados en ambas parejas de fotos estéreo y en cualquier *frame* o instante deseado de la filmación.

– El sistema permite simular la postura del trabajador con el modelo humano virtual y en el instante o *frame* que se desee. El ajuste entre el modelo virtual 3D y el modelo real del sujeto sólo es necesario realizarlo en determinados *frames* o posturas claves del trabajador, las posturas intermedias del modelo virtual se calculan por interpolación. En consecuencia, con un número reducido de posturas claves ajustadas del modelo virtual con el real es posible reproducir la totalidad del movimiento del trabajador con el modelo virtual 3D a lo largo de todo el tiempo de filmación realizado.

– El modelo virtual está dotado de cinemática inversa que simplifica notablemente el proceso de ajuste modelo virtual y real. En concreto, para ajustar el modelo virtual a la postura del trabajador en un determinado *frame*, el sistema dispone de las siguientes características:

a) La simulación del movimiento del trabajador con el *Human* se basa en relacionar puntos de la superficie corporal del trabajador, cuyas coordenadas *xyz* se calculan por triangulación al marcarlos en ambas parejas de fotos del *frame* correspondiente, con los puntos homólogos del *Human*. Los puntos sobre el *Human* también se calculan por triangulación, pero en este caso se pueden visualizar y señalar fácil y cómodamente haciendo uso de las distintas cámaras disponibles en el sistema de modelización 3D, las cuales disponen de funciones de aproximación y giro entre otras.

b) Los puntos elegidos para realizar la citada correspondencia entre el modelo virtual y el real puede ser cual-

quier referencia visualmente destacada (ojos, nariz, boca, orejas, muñecas, codos, rodillas, pies, entre otros).

c) Para ajustar el *Human* a la postura del trabajador bastará localizar, simplemente, las posiciones de manos, pelvis y pies. Una vez trasladado el *Human* a la posición deseada, el resto de elementos corporales del *Human* se moverán automáticamente por cinemática inversa. Para un ajuste fino entre modelo virtual y real se podrán mover ligeramente y de forma interactiva otros elementos corporales. Se han determinado límites en los movimientos de los segmentos corporales del *Human* con el fin de que las posturas resultantes sean anatómicamente factibles.

d) Incluye un método para mover las extremidades del modelo 3D previa selección de la mano o pie, derecho o izquierdo, correspondiente. De igual forma, identificando un punto sobre el *Human* y su homólogo en la superficie corporal del trabajador, por ejemplo, la parte dorsal o lateral de la muñeca, los elementos involucrados en esa extremidad (antebrazo y brazo o pierna y muslo) se moverán consecuentemente por cinemática inversa hasta que la mano o el pie alcance la posición deseada.

e) Es posible trasladar el *Human* marcando un punto de referencia en el *Human* e identificando como destino el punto homólogo en la superficie corporal del trabajador. El *Human* se moverá a esa nueva posición. También se puede trasladar y girar a la vez, para ello es necesario identificar dos puntos de origen y sus homólogos puntos de destino en el cuerpo del trabajador.



Personaje virtual en 3D superpuesto al sujeto real.



Personaje virtual en el mundo 3D.



Personaje virtual en el mundo 3D cambiando de cámara.



Sujeto llevando a cabo la tarea analizada.



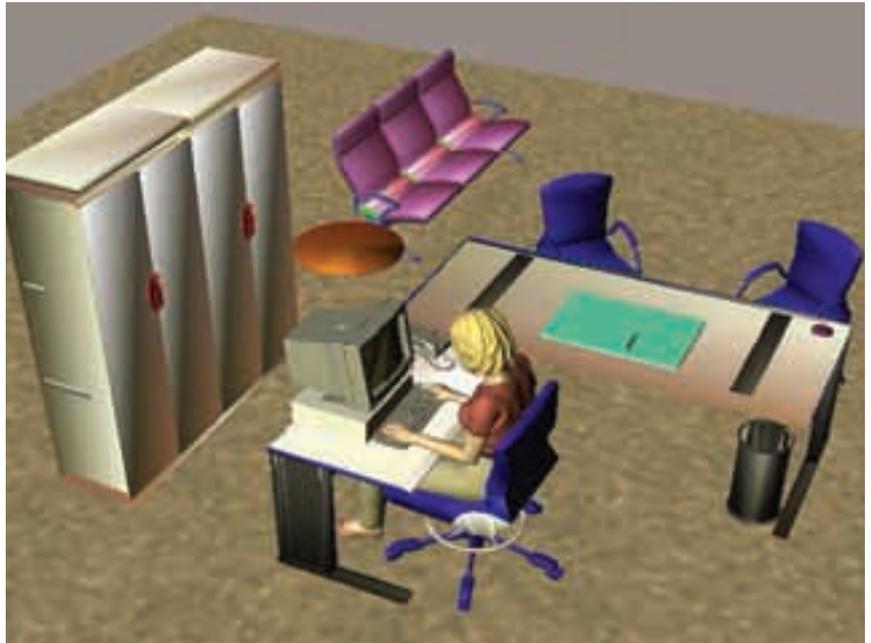
Simulación cambiando la antropometría del sujeto.

ANÁLISIS DE MOVIMIENTOS

Es posible realizar el análisis tridimensional del movimiento del trabaja-

dor a partir del movimiento del modelo virtual resultante. De cada segmento corporal del *Human* se podrá visualizar gráficamente la variación de ciertos parámetros a lo largo de los distintos *frames* de la filmación realizada con el equipo de estéreo-visión. En concreto se podrá observar, dentro del rango de imágenes o *frames* que se desee, la variación de los siguientes parámetros:

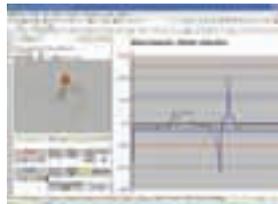
- Ángulos adoptados por cuello, extremidades superiores e inferiores, columna, etc., en los diferentes planos biomecánicos o ángulos relativos de un segmento corporal con respecto a otro, así como los ángulos de rotación.
- Velocidades y aceleraciones.
- Desplazamientos del centro de gravedad del cuerpo y de los extremos de brazos y piernas, y las velocidades y aceleraciones de dichos desplazamientos.
- Desplazamientos o giros de objetos que se han manipulado.



Ejemplo de simulación de propuestas de mejora.



Hoja Excel para análisis de movimientos.



Ejemplo de hoja de análisis de movimientos.

El sistema dispone de las funciones necesarias para calcular distancias y ángulos entre distintos puntos identificados en ambas parejas de fotos estéreo y en cualquier frame o instante deseado de la filmación.

SIMULACIÓN DE PROPUESTAS DE MEJORA

El programa dispone de funciones precisas para simular posibles propuestas de mejora. El conjunto de funcionalidades anteriormente expuestas (captura, simulación y animación 3D) se podrá utilizar y activar después de modificar cierta disposición de los elementos que integran el puesto de trabajo. Esa nueva configuración quizá requiera modificar ciertas posturas del *Human* para acomodarlo a esa nueva situación.

El análisis del movimiento resultante permitirá observar la bondad de posibles propuestas de mejora. De esa forma se podrán analizar posibles modificaciones de las condiciones del puesto de trabajo previo a la implementación

física de las mismas, y estudiar su impacto a efectos de evaluación de riesgos, rendimiento o productividad de la actividad del trabajador.

EVALUACIÓN

Una vez recreado el movimiento en 3D, se dispone de toda la información relativa a alturas, alcances, posición de los diferentes segmentos corporales, etc., y, por tanto, introduciendo algunos parámetros, como fuerza aplicada, pesos manejados, frecuencia de los movimientos, etc., es posible aplicar en forma automática diferentes métodos de evaluación, como, por ejemplo, la ecuación de NIOSH [2] para la evaluación de tareas de manejo manual de cargas, el método REBA

[3] o cualquier otro que se desee previa programación en Excel. Tiene la ventaja de que se pueden introducir cambios en el movimiento del *Human* y rápidamente obtener la nueva evaluación. De esta forma se pueden proponer mejoras y proporcionar la correspondiente evaluación ergonómica.

INFORMES

En formato MS Word se proporciona una serie de plantillas con informes biomecánicos predefinidos que el usuario puede personalizar (tipos de letra, introducir el logotipo de la empresa, etc.). Los formularios se generan automáticamente y en los mismos se incluyen todos los datos del estudio (fecha del estudio de campo, número de *frames* grabados, etc.). Además, el usuario puede seleccionar las posturas y los datos (resultados obtenidos, gráficas, resumen estadístico de resultados, etc.) que desea trasladar a cada informe. Esto facilita la labor del técnico, ya que lo único que tiene que redactar son las conclusiones y recomendaciones que estime oportunas, mientras que todos los datos del estudio se generan de forma automática.

CONCLUSIONES

Los trabajos de campo realizados han demostrado que el sistema HADA/*Move-Human* constituye una herra-

menta extraordinariamente útil para el análisis y evaluación de puestos de trabajo desde el punto de vista de la ergonomía, así como para el rediseño de puestos de trabajo. Facilita en gran medida la labor del técnico y proporciona información relevante sobre las posturas y movimientos del sujeto. De una forma rápida se obtienen los ángulos de los diferentes segmentos corporales que gráficamente pueden compararse con los límites articulares y con los ángulos de confort prefijados. Asimismo, es un sistema abierto que posibilita la aplicación de métodos de evaluación reconocidos (por ejemplo, REBA y NIOSH), pudiendo comparar diferentes propuestas de mejora o analizar el puesto de trabajo simulando sujetos con diferentes dimensiones antropométricas. Al ser un sistema abierto es posible personalizar los métodos de evaluación o bien programar otro tipo de aplicaciones para otros campos de actividad (como, por ejemplo, métodos y tiempos).

A diferencia de los sistemas convencionales para captura de movimientos, el sistema HADA/*Move-Human* es un equipo portátil que provoca una mínima interferencia con el trabajador y no necesita el empleo de marcadores. El sistema está precalibrado, no precisando realizar un procedimiento de calibración previo a la captura del movimiento. Además, permite asumir la no visibilidad frecuente de determinadas zonas del cuerpo desde ambas cámaras por obstácu-

A diferencia de los sistemas convencionales para captura de movimientos, el sistema HADA / MOVE-HUMAN es un equipo portátil que provoca una mínima interferencia con el trabajador y no necesita el empleo de marcadores.

los, limitaciones de espacio u otras. El equipo es utilizable en situaciones reales, incluido el entorno industrial, siendo ideal para los estudios de campo.

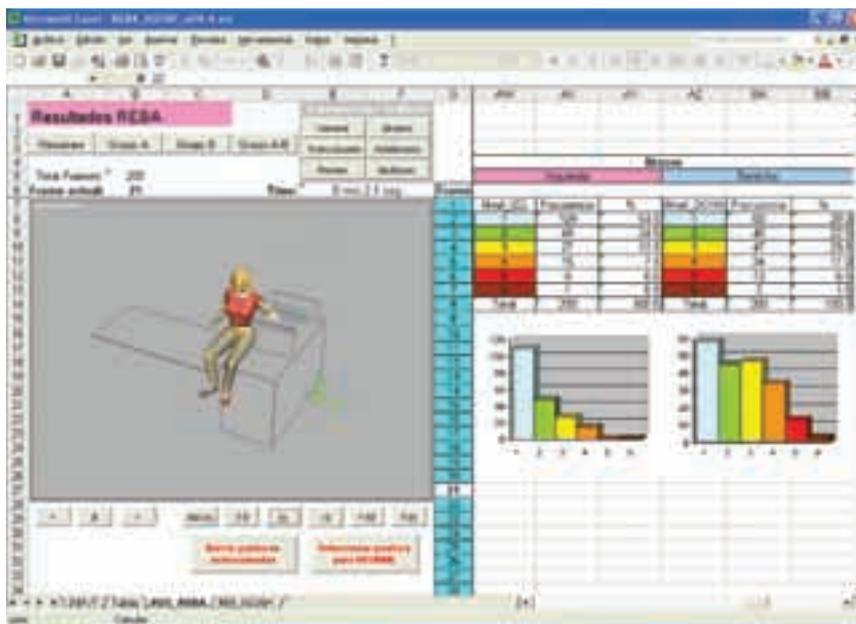
El desarrollo del equipo es fruto de un acuerdo de colaboración entre el Instituto de Ergonomía MAPFRE y el Grupo ID_ERGO (Investigación y Desarrollo en Ergonomía) del Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A) adscrito a la Universidad de Zaragoza⁴, contando además con el apoyo del Departamento de Prevención de Opel España en las pruebas de campo realizadas durante la etapa de diseño.

REFERENCIAS

[1] Curious Labs, URL: www.curiouslabs.com (06/07/2004).

[2] Waters, Putz-Anderson, Garg: *Aplicación Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation*, U.S. Department of Health and Human Service-Centers for Disease Control and Prevention, 1994.

[3] McAtamney, L., y Hignett, S.: *Rapid entire body assessment (REBA)*, *Applied Ergonomics*, 2000, 31, páginas 201-205.



Ejemplo de hoja de evaluación.

⁴ URL: <http://i3a.unizar.es>.