

Método de evaluación de carga física en puestos de trabajo

CRISTINA DÍAZ CACHERO
MIGUEL IPAS BLASCO
Ingenieros Industriales
Instituto de Ergonomía MAPFRE (Zaragoza)

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es desarrollar un método que, en el ámbito de los procesos productivos industriales, consiga:

- Determinar el grado de requerimiento físico que implica una determinada tarea productiva a través del estudio del trabajo mecánico que lleva consigo.
- Catalogar esta exigencia física, es decir, ser capaz de definirla como aceptable o no.

A partir del resultado obtenido se pueden tomar decisiones acerca de la modificación o no de los factores que pudieran influir negativamente en la

SUMARIO

Se presenta un nuevo método de análisis de puestos de trabajo. El Método de Carga de Movimientos (MCM) presenta como novedad el análisis ergonómico del puesto cuando se diseña, utilizando la información proporcionada por los Sistemas de Tiempos Predeterminados.

Palabras clave: Ergonomía, método de análisis, evaluación carga física.

consecución del trabajo para conseguir una tarea más adecuada al trabajador y resultados óptimos desde el punto de vista operativo.

Un buen método debe estar basado en los criterios más significativos a la hora de detectar situaciones peligrosas en los puestos. Por poner un ejemplo, el consumo metabólico global que conlleva un trabajo sólo es de utilidad en aquellas actividades excesivamente duras desde el punto de vista físico. Sin embargo, es una ten-

dencia generalizada en la industria actual eliminar situaciones que impliquen esfuerzos excesivos para los trabajadores, utilizando tecnología o sistemas más racionales de trabajo. Por tanto, los problemas que plantean los sistemas de trabajo en la actualidad son de distinta índole y se traducen en lesiones musculoesqueléticas. La metodología debe enfocarse, por tanto, como protección de posibles lesiones. Las más frecuentes son las de columna y los microtrau-

matismos repetitivos (Cumulative Trauma Disorders o CTDs).

Normalmente, este tipo de métodos se emplean en el análisis de puestos ya existentes. Sin embargo, el objetivo de la ergonomía debería ser la prevención: evitar la existencia de puestos que entrañen riesgos para los trabajadores. Por ello, si se utilizara un método de evaluación de carga física como información complementaria en el proceso de diseño de los puestos, se solucionarían muchos problemas de raíz.

BASE DEL MÉTODO

El método se basa en el uso de la información proporcionada por los Sistemas de Tiempos Predeterminados (PMTS); en concreto, el MTM-UAS, que es el método usado en Opel España, empresa donde se realizó el trabajo.

Los PTMS (Predetermined Motion Time Systems) se utilizan para perfeccionar los métodos de trabajo y establecer los tiempos de producción. Por tanto, es una herramienta utilizada en el diseño de las operaciones que se realizan en los puestos. Sin embargo, este diseño se realiza desde el punto de vista de los tiempos y la productividad, olvidando cualquier tratamiento que suponga la detección de factores de riesgo para el individuo. Este método podría cubrir ese vacío y servir para evitar la implantación de aquellos supuestos que, cumpliendo los requisitos de tiempo, pre-

sentasen alguna deficiencia desde el punto de vista ergonómico.

La utilización de los PMTS está ampliamente difundida en todo el mundo. En nuestro país, Opel ha sido una de las pioneras, pero cada vez hay más empresas que sustituyen los sistemas tradicionales de medida de tiempos con cronómetro por los de tiempos predeterminados. Por tanto, es una metodología de trabajo familiar y conocida en la industria actual.

Una característica esencial de los PTMS es que elimina el concepto subjetivo de la actividad. Por ello, su utilización como fuente de información en el análisis de carga física en puestos de trabajo cumple la premisa de la objetividad.

Puesto que con este tipo de sistemas se puede diseñar cualquier clase de actividad que se realice en la industria, obtenemos información sobre los tipos de movimientos susceptibles de estudio para nuestros propósitos.

El MTM (Media del Tiempo de los Métodos) fue el primer de los PMTS, y tomándolo como base se han desarrollado técnicas como USD, GPD, MTM-2, MTM-3, VAS, etc., que representan simplificaciones importantes sobre el MTM-1.

Con el MTM-1 el trabajo se compone de un conjunto de tareas, donde cada una, a su vez, se define como una serie de pasos o elementos. Éstos se describen como movimientos fundamentales requeridos para realizar un trabajo.

El MTM-UAS, método de tiempos utilizado, es un sistema de tiempos

predeterminados de tercer nivel, elaborado en base al MTM-1, de modo que pueda emplearse en todas las ramas de producción, siempre y cuando sean aplicables las características propias de la fabricación en serie (tareas del mismo tipo, es decir, repetitivas, puestos de trabajo racionalizados, buena organización del trabajo e instrucciones detalladas para su realización).

Tomando como base los datos de MTM-1 se desarrolló el UAS, siguiendo los siguientes principios:

- Condensación de datos o, lo que es lo mismo, unión de los elementos básicos en bloques mayores y determinación de valores promedio de tiempo.

- Disminución del número de decisiones, simplificando las distancias, sustituyendo bloques poco frecuentes e introduciendo elementos compuestos para movimientos similares en el tiempo.

El método así obtenido presenta una serie de ventajas frente al MTM-1, ya que es un sistema de alta velocidad de análisis que precisa una pequeña cantidad de datos, ofreciendo descripción y precisión suficiente del método de trabajo.

Los elementos básicos del MTM-1 se agruparon en siete grupos de movimientos importantes: tomar y situar, situar, manejo de herramientas, accionar, ciclos de movimientos, movimientos del cuerpo y verificación visual.

FACTORES ANALIZADOS POR EL MÉTODO

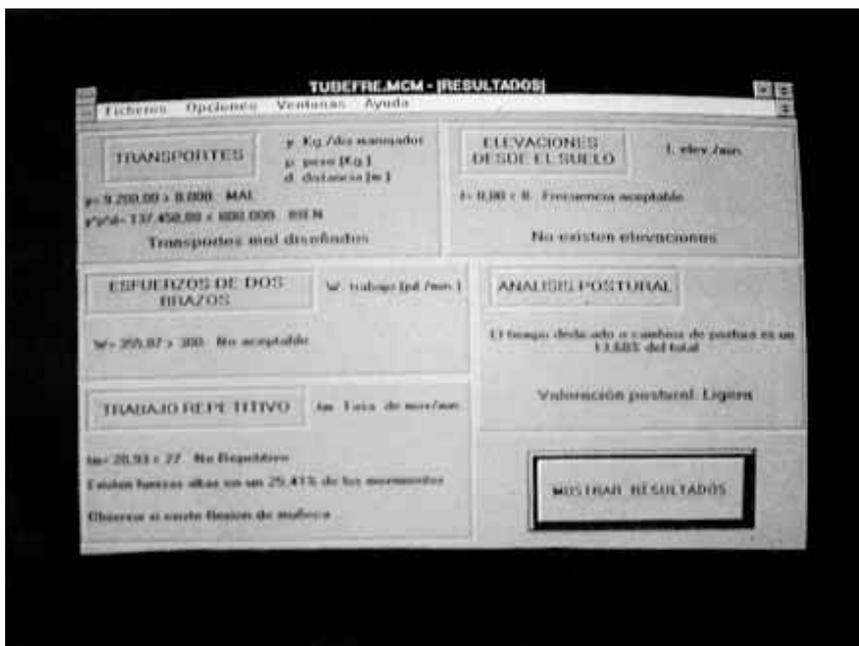
Toda esta información proporcionada por el MTM se utiliza para realizar un análisis de los distintos requerimientos del trabajo:

a) Análisis postural o carga estática corporal.

b) Análisis de los esfuerzos de cuerpo entero (transporte de cargas y elevaciones entre el suelo y los nudillos). Este tipo de movimientos representa el mayor riesgo para la columna.

c) Análisis de los esfuerzos de brazos (manejos de cargas realizados únicamente con los brazos, esto es, a niveles por encima de la altura de los nudillos). Este tipo de movimientos puede suponer riesgo para la columna y producir fatiga muscular local en las extremidades superiores.

d) Análisis de esfuerzos manuales (movimientos del sistema mano-muñeca). Este tipo de acciones puede llevar asociado riesgo de CTDs.



Muestra de resultados obtenidos del puesto estudiado.

a) Análisis postural

Éste es un aspecto muy importante en cualquier análisis de puestos, ya que la adopción de posturas forzadas contribuye al desarrollo de lesiones, a la aparición de fatiga y a una menor efectividad del trabajo.

En el diseño de puestos con UAS, este efecto se pone de manifiesto, ya que una operación recibe un suplemento de tiempo según la postura en que se realice (suplemento por postura). Del mismo modo, el tiempo asignado a la operación también aumenta si se incrementa la carga manejada (suplemento por peso). Por ello, la misma actividad realizada con pesos y/o posturas distintas llevará asociada tiempos diferentes. Todo lo indicado nos lleva a pensar que el tiempo que el individuo permanece en una posición es un buen parámetro para valorar la carga postural de un puesto de trabajo.

Ésta es una metodología frecuente en la determinación de la carga estática corporal. Nos basaremos en el método propuesto por Swat (1988) para realizar el análisis de posturas. El citado método contempla 144 posturas estándar, resultado de la combinación de cuatro posturas de la espalda, cuatro de los brazos y nueve de las piernas. Estas 144 posturas se han clasificado en cinco categorías de riesgo o tensión postural en base a rigurosos estudios biomecánicos.

Swat ha evaluado con este procedimiento distintos trabajos de la industria textil, proponiendo los siguientes criterios para clasificar el estrés postural:

- Trabajo ligero.
- Trabajo medio.
- Trabajo pesado.
- Trabajo muy pesado.
- Trabajo extremadamente pesado.

Este nuevo método aporta el **índice de desplazamientos** y será una información complementaria a la valoración postural. Con este valor se pretende tener en cuenta el efecto de la frecuencia de adopción de las posturas, es decir, cuán estáticamente se realiza el trabajo. El método Swat asume la tendencia general de valorar las posturas en base a la duración acumulada de las mismas. Sin embargo, no es lo mismo mantener una posición durante media hora que mantenerla tres minutos diez veces. Por ello, puestos con la misma valoración postural pueden tener índices de desplazamientos diferentes, y esta nueva medida servirá de comparación entre ellos.

Lo obtenemos a través de la infor-



Vista parcial del laboratorio de biomecánica (Instituto de Ergonomía).

mación proporcionada por el MTM-UAS del puesto. Interesa conocer el tiempo dedicado a cambios de postura del trabajador. El operario no realiza trabajo, sino movimientos para conseguir la nueva posición o desplazarse a otro destino. Por ello, las operaciones que se deben considerar: andar (KA), movimientos verticales (KB) y sentarse-levantarse (KC), todas ellas sin suplemento de peso (si llevan suplemento de peso serán estudiadas como manejo de cargas).

Se hallará el tiempo total dedicado a estas operaciones y su porcentaje sobre el tiempo total de la tarea (tiempo UAS del ciclo básico de trabajo). Este porcentaje recibe el nombre de índice de desplazamientos.

B) Esfuerzo de cuerpo entero

Se analizan operaciones de manejo de cargas que requieran de la participación de todo el cuerpo, esto es, transportes y elevaciones entre el nivel del suelo y los nudillos. Este tipo de actividades puede entrañar riesgo de lesiones de columna, especialmente en el caso de la elevaciones, y fatiga muscular local de la musculatura lumbar y de los brazos, en el caso de los transportes.

Para los **transportes** se calculará la carga manejada por día. Se sumará los pesos correspondientes a cada transporte que aparezca en el UAS. El resultado será la cantidad de carga

manejada por ciclo. Si se multiplica el valor obtenido por la producción diaria o, lo que es lo mismo, las veces que debe repetirse el ciclo en la jornada de trabajo, obtendremos la carga manejada por día (f). Establezcamos como límite, en base a distintos estudios, que $f < 8.000$ kg/día.

Se puede dar la circunstancia de que se realicen transportes de distintas características en cuanto a peso y distancia. Por ello debemos averiguar el valor medio del producto peso (P) \times distancia (d).

Para cada transporte se multiplica el valor del peso manejado por el valor de (repeticiones \times frecuencia). La suma de todos esos productos dividida por el número de transportes que se efectúa en el ciclo dará el valor medio de $P \times d$.

Sólo queda multiplicar « $P \times d$ medio» por « f », y comprobar que el resultado sea **menor que 800.000**, límite que hemos establecido en el nuevo método, según estudios realizados.

Para las **elevaciones** se realizará el estudio entre el suelo y la altura de los nudillos, porque precisan de la intervención de todo el cuerpo (piernas, tronco, brazos).

El análisis de este tipo de operaciones, utilizando la información proporcionada por MTM-UAS, se realiza identificando movimientos verticales del cuerpo, códigos KB (movimientos verticales) que lleven asociados suplemento de peso distinto de cero.

El primer paso es averiguar el número de elevaciones por ciclo de trabajo (f_{ciclo}). Para ello, cuando detectamos una elevación (KB + Sup. peso), observaremos el valor de (repeticiones \times frecuencia), que nos indicará el número de veces que se repite esa misma operación. La suma de los valores (repeticiones \times frecuencia) de todas las elevaciones encontradas nos proporciona f_{ciclo} .

El número de elevaciones por minuto (E) se obtiene realizando una sencilla operación:

$$E = f_{\text{ciclo}} \times (60/t_{\text{ciclo}}), \text{ donde } t_{\text{ciclo}} \text{ es el tiempo de ciclo.}$$

El límite que hemos establecido para cumplir los criterios (biomecánico, fisiológico, psicofísico) más restrictivos y prevenir situaciones de riesgo es que **E sea menor que 8**, aunque el número de elevaciones por minuto (E) máximo disminuye si se aumenta el peso elevado.

C) Esfuerzos de brazos

En este apartado se tratan aquellas manipulaciones de cargas que precisan, principalmente, de actividad muscular en los brazos, es decir, las que se realizan por encima del nivel de los nudillos. Este tipo de operaciones puede entrañar riesgo para la columna, pero también puede provocar aparición de fatiga muscular local.

La manera de representar estas actividades con MTM-UAS es a través de las operaciones de «tomar y situar». En ellas se contemplan tres únicos rangos de distancia, independientemente de la dirección del movimiento. Por esta razón no podemos determinar si estamos ante un desplazamiento vertical o ante uno horizontal, es decir, ante una «elevación» o ante un «traslado de carga».

Según la norma europea sobre manejo manual relacionado con máquinas, elaborada por el CEN TC 122/WWG 4, estamos ante una elevación cuando una carga se mueve parcial o totalmente desde el suelo u otra superficie hacia arriba, hacia abajo y/u horizontalmente. Esto quiere decir que los traslados de carga se pueden considerar elevaciones desde el punto de vista biomecánico, o sea, de cara a proteger la columna vertebral.

Es normal que una tarea implique manejos de pesos diferentes a lo largo de diferentes distancias. Por ello, el camino más sencillo para valorar estas actividades sería conocer el trabajo mecánico que conlleva cada movimiento, y luego, sumándolos, ver si cumplen la condición establecida.

Este tipo de tareas viene representado en MTM-UAS a través de los movimientos de «tomar y situar» con pesos mayores de 1 kg. La idea aportada como novedad por el nuevo método es conseguir una tabla similar a la de UAS, con datos de trabajo en lugar de tiempos. Se pretende calcular el trabajo mecánico que conllevan las operaciones de manejo de cargas con brazos.

La simulación en laboratorio de dichos movimientos se realiza con el LIDOWORKSET. Este aparato, por medio de una gran variedad de herramientas, puede simular numerosas tareas relacionadas con el trabajo, así como muchas actividades de la vida diaria.

El *hardware* y el *software* que lo acompañan proporcionan una completa descripción de cualquier ejercicio, ofreciendo como salida datos sobre la potencia, trabajo realizado, par medio y máximo e índice de fatiga.

Sumando los valores de trabajo calculado, correspondientes a los movimientos anteriormente indicados que aparezcan en el MTM-UAS del puesto, obtenemos el trabajo total por ciclo (W). Convirtiéndolo a un minuto se puede ver si cumple la condición establecida como límite por nuestro método de:

$$W \times (60/t_{\text{ciclo}}) < 300 \text{ julios/min}$$

D) Trabajo repetitivo

Hasta ahora hemos analizado las operaciones de manejo de cargas, tanto si requieren de la participación de todo el cuerpo como si lo hacen

principalmente de los brazos. Sin embargo, este análisis no es suficiente para detectar el grado de requerimiento que lleve asociado el puesto para el sistema mano-muñeca. Éste debe ser un apartado imprescindible en cualquier estudio sobre condiciones de trabajo, ya que los microtraumatismos repetitivos o CTDs se dan con bastante frecuencia en la industria.

Cumulative Trauma Disorders (CTDs) son alteraciones de los tejidos (frecuentemente, tendones y nervios) debido a movimientos y posturas llevadas al límite de la capacidad articular. Los CTDs de mano y muñeca más frecuentes son: síndrome de túnel carpiano (CTS), tenosinovitis, tendinitis y enfermedad De Quervain.

Los factores de riesgo asociados a este tipo de enfermedades son:

- Repetitividad.
- Fuerzas manuales elevadas.
- Posturas forzadas.

Hay que averiguar el número de movimientos de la mano. Cualquier manejo de cargas precisa un «agarrar», o sea, como mínimo, un movimiento de la mano. Existen otras operaciones que no son de manejo de cargas, pero necesitan actividad manual, como, por ejemplo, el accionamiento de mandos y botones, el manejo de herramientas, etc. Por ello, para encontrar la tasa de movimientos por ciclo ($\text{tasa}_{\text{ciclo}}$), se contará el número de veces que se realizan los movimientos de tomar y situar, manejar de herramientas, accionar (con la mano, no incluir los que se accionan mediante pedales y similares), ciclos de movimientos.

De este modo habremos encontrado la tasa de movimientos del ciclo de trabajo. La tasa de movimientos por minuto se halla multiplicando por el factor $(60/t_{\text{ciclo}})$. El trabajo se considerará repetitivo si el número de movimientos por minuto supera el límite establecido en el nuevo método para prevenir riesgos de lesión en muñeca.

$$\text{tasa}_{\text{ciclo}} \times (60/t_{\text{ciclo}}) \geq 27 \text{ mov/min}$$

CONCLUSIONES

La utilización del MTM-UAS como fuente de información para realizar el análisis hace que la aplicación del nuevo método sea totalmente **objetiva**. Dado que no se deja cabida al criterio subjetivo del usuario del método, los resultados obtenidos en los distintos puestos pueden servir como medida comparativa entre las demandas

El método propuesto es de aplicación sencilla, ya que no precisa de la utilización de equipos complejos o del conocimiento de técnicas especializadas. Todo esto se ve reforzado con la existencia de un sencillo programa de ordenador, que facilita aún más el análisis.

físicas que requiere cada uno de ellos. De este modo se pueden establecer criterios de prioridad en la política de mejora de las actividades de la empresa y establecer turnos de rotación más racionales entre puestos de diferentes características para disminuir los riesgos de lesión para el trabajador.

La amplia difusión de los sistemas MTM en la industria actual puede hacer atractiva la idea de la utilización del presente método, ya que está basado en un concepto familiar para las empresas en lugar de emplear alguna otra teoría extraña y compleja que requiriera formación adicional.

El diseño de actividades de trabajo con MTM-UAS se realiza en vista a la reducción de tiempo y, por tanto, al aumento de productividad. Sin embargo, si los puestos llevan asociados niveles altos de disconfort y fatiga para el trabajador, este efecto pronto se traducirá en una disminución del rendimiento. Este nuevo método se puede utilizar como información complementaria al MTM para evitar situaciones de riesgo para el trabajador. De esta manera se ataja el problema desde su raíz, desde el momento del diseño de la operación. Éste es un aspecto especialmente novedoso, ya que los métodos de evaluación de carga física existentes se utilizan directamente sobre el puesto y no en su etapa de diseño.

El método propuesto es de aplicación sencilla, ya que no precisa de la utilización de equipos complejos o del conocimiento de técnicas especializadas. Todo esto se ve reforzado con la existencia de un sencillo programa de ordenador, que facilita aún más el análisis. Esto constituye otro punto a favor de la utilización del método expuesto.

La metodología utilizada en este planteamiento de análisis va enfocada a detectar los factores de riesgo de lesión musculoesquelética que puede entrañar el puesto en sus múltiples facetas (manejo de cargas, posturas, repetitividad, etc.). Ésta es la necesidad imperante en la industria actual, ya que no es frecuente encontrar puestos que requieran grandes esfuerzos físicos, pero sí se producen bajas laborales por enfermedades de columna, microtraumatismos repetitivos, fatiga muscular local, etc. Por tanto, se debe proteger al trabajador de estas situaciones para su beneficio y el de la propia empresa.

Es, sin embargo, un método abierto; tanto los factores analizados como los límites que se han marcado son, de momento, orientativos, pues se está realizando una segunda fase

La utilización de los PMTS está ampliamente difundida en todo el mundo. Cada vez hay más empresas que sustituyen los sistemas tradicionales de medida de tiempos con cronómetro por los de tiempos predeterminados.

de investigación y desarrollo del método en el Instituto de Ergonomía MAPFRE, que lleva marcados como objetivos:

- Evaluación de los factores analizados y determinación de unos límites para los distintos factores mediante aplicación a distintos puestos de trabajo, comprobación con otros métodos y con la normativa existente.
- Mejora de la aplicación informática desarrollada para la utilización del método.
- Posible adaptación a otros sistemas de métodos y tiempos, como el MTM-2, más utilizados en las empresas para poder hacer su uso más universal.

BIBLIOGRAFÍA

- ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienist) (1987): *Ergonomic Interventions to prevent musculoskeletal injuries in industry*, Lewis Publishers, Chelsea, Michigan.
- ARRIAGA SANZ, J. M. (1980): «La fatiga en el trabajo y su influencia en la productividad», *Salud y Trabajo*, núm. 26, pp. 21-26.
- ARMSTRONG, T. J. (1986): «Ergonomics and cumulative trauma disorders», *Hand Clinic*, núm. 2, pp. 553-565.
- AYOUB, M. M. (1992): «Problems and solutions in manual materials handling: the state of the art», *Ergonomics*, vol. 35, núms. 7-8, pp. 713-728.
- BARNES, R. M. (1966): *Estudios de movimientos y de tiempos*, Aguilar, Madrid.
- CEN TC122/WG4 (Draft) (1990): *Safety of machinery - Human Physical Performance*, Unión Europea.
- CHAFIN, D. B.; HERRIN, G. D.; KAYSERLING, W. M., y GARG, A. (1977): «Método para la evaluación de la fatiga biomecánica resultante de los trabajos de acarreo

manual de materiales», *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 38, núm. 12.

- CHAFIN, D. B., y ANDERSON, G. B. (1984): *Occupational Biomechanics*, John Wiley, New York.
- CIRIELLO, V. M.; SNOOK, S. H.; BLICK, A. C., y WILKINSON, P. L. (1990): «The effects of task duration on psychophysically determined maximum acceptable weights and forces», *Ergonomics*, vol. 33, núm. 2, pp. 187-200.
- GIROUX, B., y LAMONTAGNE, M. (1992): «Net shoulder joint moment and muscular activity during light weight-handling at different displacements and frecuencies», *Ergonomics*, vol. 35, núm. 4, pp. 384-403.
- INSHT (1985): *Nuevas tecnologías y condiciones de trabajo*, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Madrid.
- ISO 6385 (1981): *Ergonomic principles of the design of worksystems*, International Organization for Standardization (ISO), Ginebra.
- LEE, K.; CHAFFIN, D. B.; HERRIN, G. D., y WAIKAR, A. M. (1991): «Effect of handle height on lower-back loading in cart pushing and pulling», *Applied Ergonomics*, vol. 22, núm. 2, pp. 117-123.
- LOREDAN BIOMEDICAL INC. (1991): *Operations Manual for the LIDO WorkSet*; Loredan Biomedical Inc., Davis, California.
- LOSLEVER, P., y RANAIVOSOA, A. (1993): «Biomechanical and epidemiological investigation of carpal tunnel syndrome at workplaces with high risk factors», *Ergonomics*, vol. 36, núm. 5, pp. 537-554.
- MARRAS, W. S., y SCHOENMARKLIN, R. W. (1993): «Wrist motion in industry», *Ergonomics*, vol. 36, núm. 4, pp. 341-351.
- MITAL, A., y FARD, H. F. (1986): «Psychophysical and physiological response to lifting symmetrical and asymmetrical loads symmetrically and asymmetrically», *Ergonomics*, vol. 29, pp. 1263-1272.
- MITAL, A. (1992): «Psychophysical capacity of industrial workers for lifting symmetrical and asymmetrical loads symmetrically and asymmetrically for 8 h. work shifts», *Ergonomics*, vol. 35, núms. 7-8, pp. 1263-1272.
- REFA (1987): *Handhaben von Lasten*, REFA - Fachausschuß Chemie.
- SNOOK, S. H., y CIRIELLO, V. M. (1991): «The design of manual handling task: revised tables of maximum acceptable weights and forces», *Ergonomics*, vol. 34, núm. 9, pp. 1197-1213.
- SWAT, K. (1988): «Working posture analysis system to evaluate postural stress in the workplaces», *Ergonomics International*, 88, Taylor & Francis, London.
- TRACY, M. F. (1991): «Biomechanical methods in posture analysis», *Evaluation of Human Work*, cap. 23, Taylor & Francis.
- INSTITUTO DE ERGONOMÍA MAPFRE (1993): Curso sobre «Lesiones por microtraumatismos y movimientos repetitivos», Zaragoza.
- INSTITUTO DE ERGONOMÍA MAPFRE (1995): Curso de «Manejo manual de cargas», Zaragoza.
- DEPARTAMENTO DE FABRICACIÓN OPEL ESPAÑA: *Manual de métodos y tiempos*.