

## TÉCNICAS INSTRUMENTALES PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS EN TRABAJOS REPETITIVOS

Ramón Moraga

INSTITUTO DE BIOMECÁNICA DE VALENCIA

### Lesiones musculoesqueléticas en trabajos repetitivos

El cambio generalizado en los métodos de producción, con la automatización de muchas industrias y la extensión casi universal del trabajo en cadena, ha supuesto un enorme incremento de los trabajos repetitivos. Estos trabajos no sólo se caracterizan, como su nombre sugiere, por la ejecución ininterrumpida de ciclos de operaciones iguales o similares, también llevan aparejados movimientos de alta frecuencia y más o menos forzados de elementos concretos de la anatomía, básicamente el miembro superior, en los que se concentra la mayor parte del esfuerzo realizado.

Los trabajos repetitivos presentan una incidencia especialmente alta de las denominadas lesiones musculoesqueléticas por traumatismos acumulativos, caracterizadas por la aparición de lesiones de desarrollo lento y gradual en los tejidos blandos, fundamentalmente en el miembro superior y en el conjunto cuello-hombro. Se han reconocido varios factores de riesgo en la aparición de estas lesiones, los principales son: fuerzas intensas, altas tasas de repetición y posturas articulares inadecuadas. Por fuerzas intensas, más que la existencia de esfuerzos muy

**E**l IBV, en colaboración con la Fundación MAPFRE, ha llevado a término un proyecto cuyo objetivo es la puesta a punto de técnicas objetivas de evaluación de los parámetros biomecánicos asociados a los factores de riesgo de lesión musculoesquelética en trabajos repetitivos. El proyecto se ha desarrollado en dos fases: la primera es la puesta a punto de técnicas de registro de parámetros biomecánicos, con especial atención a su utilización en condiciones de campo; la segunda fase ha servido para validar las técnicas desarrolladas, mediante un estudio de investigación desarrollado en una industria seleccionada por la Fundación MAPFRE, la factoría de elaboración de productos cárnicos que la empresa OSCAR MAYER tiene en Tabernes Blanques (Valencia). Debe destacarse la excelente colaboración ofrecida por los trabajadores, los servicios médicos y la dirección de esta empresa.

altos, se entiende la concentración de las tensiones mecánicas en elementos concretos de la anatomía. Existen algunos factores de riesgo adicionales, como la falta de tiempo de recuperación de las lesiones, la presencia de lesiones o enfermedades previas, el envejecimiento de la población laboral, etc.

A pesar de la enorme importancia que tienen las

consecuencias de estas lesiones, sobre todo económicas y en la salud y bienestar de los trabajadores, y a pesar de que se conocen los principales factores de riesgo que contribuyen a su aparición, no existe hasta la fecha ningún modelo de tipo causa-efecto que explique su forma de actuar, de manera que no es posible establecer valores límite que prevengan su aparición. Una de las causas de esta falta de conocimiento es el desarrollo gradual de las lesiones, que a menudo lleva a ignorarlas hasta que se hacen crónicas o permanentes. Pero la carencia fundamental es la insuficiente investigación del problema; son necesarios estudios de amplio alcance que comparen registros epide-

**Los trabajos repetitivos presentan una incidencia especialmente alta de las denominadas lesiones musculoesqueléticas por traumatismos acumulativos**



***Son necesarios estudios de amplio alcance que comparen registros epidemiológicos con parámetros de valoración de los factores de riesgo***

miológicos con parámetros de valoración de los factores de riesgo. Esta falta de investigación se debe en gran parte a la escasa aplicación de las técnicas objetivas de evaluación de los factores de riesgo desarrolladas hasta ahora, tanto por su escasa difusión, como por su dificultad de aplicación en ciertas tareas. Puesta a punto de técnicas de registro del esfuerzo muscular y la postura de muñeca: electromiografía y goniometría. Muchas tareas repetitivas concentran en el extremo distal del miembro superior, en la mano, la muñeca y el antebrazo, la carga principal del trabajo. Este tipo de tareas, puramente manuales, presentan frecuentes lesiones musculoesqueléticas relacionadas con la presencia de fuerzas manuales de agarre acompañadas de desviaciones acusadas o permanentes de la muñeca. Las lesiones se presentan sobre todo en los tendones y vainas sinoviales, que además pueden comprimir nervios a su paso por estrechamientos anatómicos; algunas de estas lesiones son: síndrome del túnel carpiano, epicondilitis, tenosinovitis, tenosinovitis estenosante, gangliones en la muñeca, "dedos en resorte" (tenosinovitis estenosante crepitante), etc.

El análisis de estas tareas mediante los métodos clásicos

de observación y análisis presenta algunas dificultades, debido a que los movimientos de manos y muñeca pueden ser muy rápidos, y es difícil discernir por la simple observación visual (o por registros de vídeo) la orientación y el grado de desviación de la muñeca. El registro de las fuerzas manuales también es problemático, al ser frecuente que la mano interactúe con más de un elemento, no pudiendo entonces utilizar instrumentación para el registro directo de estas fuerzas (células de carga).

Con el fin de solventar los problemas de evaluación descritos, el Grupo de Biomecánica Ocupacional ha puesto a punto técnicas de registro de la actividad muscular y de la postura de la muñeca, aplicables en la evaluación de trabajos manuales repetitivos. El enfoque buscado ha sido la utilización de métodos instrumentales de registro, aplicables en el estudio de trabajos reales, en condiciones de campo; en consecuencia se ha optado por métodos poco invasivos, de volumen y peso reducidos, y por la utilización de enlaces de telemetría que permitan la completa movilidad del trabajador en el puesto analizado.

Se han seleccionado dos

***Una de las causas de esta falta de conocimiento es el desarrollo gradual de las lesiones, que a menudo lleva a ignorarlas hasta que se hacen crónicas o permanentes***

técnicas de análisis: la electromiografía superficial, para el registro de la actividad muscular asociada con el agarre en tareas manuales; y la goniometría, que permite registrar la desviación articular de la muñeca. De forma indirecta, ambas técnicas registran aspectos temporales del movimiento, como la repetitividad, la frecuencia de movimientos y los periodos de pausa y actividad. Es interesante la utilización conjunta y simultánea de ambas técnicas, de forma que se obtenga una imagen más completa de la tarea analizada.

El músculo seleccionado para la evaluación del esfuerzo manual es el flexor digital común superficial. El equipo de registro está formado por los siguientes elementos: electrodos superficiales desechables (en configuración diferencial), amplificador portátil que integra un emisor de telemetría, receptor de telemetría con amplificación y acondicionamiento de señal, sistema de tratamiento de señales con generación de valor eficaz (RMS) y tarjeta de adquisición de datos integrada en un ordenador portátil que sirve como plataforma de registro. La electromiografía no permite deducir de manera inmediata la tensión mecánica presente en los músculos, salvo en condiciones de laboratorio muy controladas; aunque esto fuera posible, la deducción de la fuerza desarrollada en el agarre requeriría el registro de los numerosos grupos musculares que intervienen en cualquier operación manual. Las técnicas de EMG se utilizan entonces como evaluador del grado de actividad muscular, de la sollicitación muscular



global que presenta la tarea manual.

La figura 1 muestra un registro típico de señal EMG, junto con el valor eficaz correspondiente (en trazo más grueso).

El modelo de goniómetro seleccionado para el registro de la postura de la muñeca es un electrogoniómetro de doble eje, de la marca Penny and Giles. Se trata de un dispositivo formado por dos vástagos que se fijan sobre la piel de los segmentos contiguos a la articulación a registrar, alineados con el eje de los segmentos corporales; ambos elementos están unidos mediante un cable flexible instrumentado con galgas extensométricas, que permiten el registro del ángulo de desviación en dos planos perpendiculares. En este caso, los vástagos se colocan sobre la zona dorsal del antebrazo y sobre el dorso de la mano, de esta forma se puede registrar simultáneamente el ángulo de flexión/extensión y el de desviación cubital/radial de la muñeca. La figura 2 muestra la forma de este elemento y su colocación. El equipo de registro de goniometría, que se utiliza simultáneamente con el equipo de registro de EMG, está formado por los siguientes elementos: goniómetro de doble eje, unidad de amplificación y acondicionamiento portátil, emisor de telemetría portátil y receptor de telemetría; en este caso las señales son codificadas en formato digital y son adquiridas a través del puerto serie del ordenador de registro.

La figura 3 muestra un ejemplo de registro de goniometría, realizado cuando el sujeto

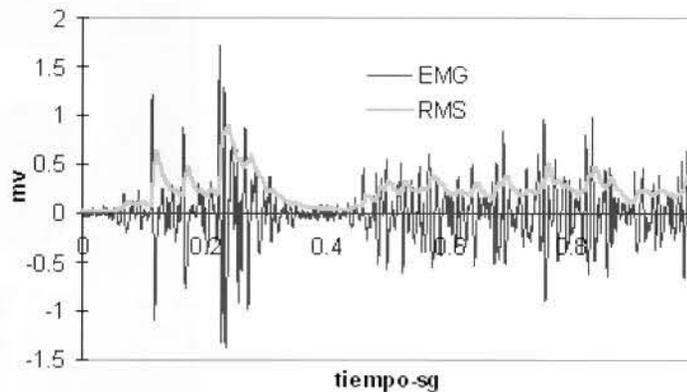


FIGURA 1. Registro de señal EMG y RMS correspondiente

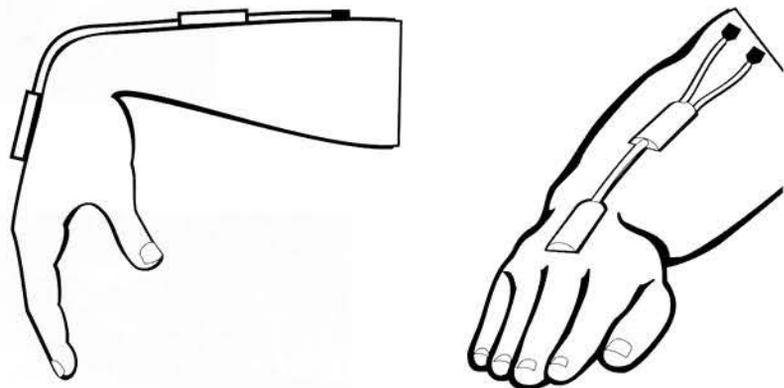


FIGURA 2. Electrogoniómetro para la medida de la posición angular de la muñeca

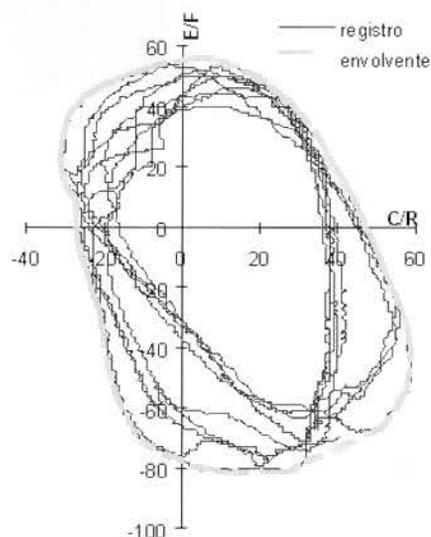


FIGURA 3. Registro de goniometría de varias circundaciones de la muñeca y su envolvente



## ***Ergonomía del Puesto de Trabajo***

efectúa circunducciones dinámicas de la muñeca en ambos sentidos (giros de la muñeca con el máximo grado de desviación); el eje de ordenadas corresponde al ángulo de extensión/flexión (positivo para extensión), el de abscisas al de desviación cubital/radial (positivo para cubital), el trazo grueso corresponde a la envolvente total (la curva que limitaría la desviación máxima de la muñeca).

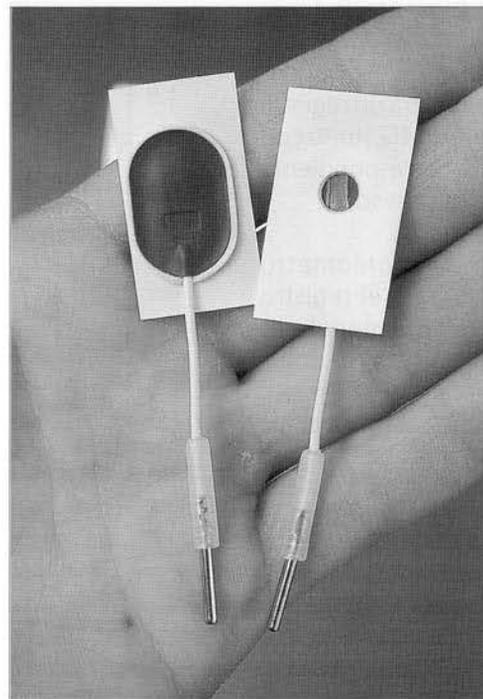
Para la puesta a punto de las técnicas de registro, se han realizado estudios piloto en el laboratorio de Ergonomía del IBV. El uso de la EMG en esta aplicación concreta ha precisado resolver problemas tales como la localización de los electrodos, forma de calibración de señales, influencia que podría tener la postura de la muñeca sobre los registros de señal electromiográfica, posibilidad de obtener curvas de relación señal EMG-tensión muscular, etc. Respecto a la utilización de los goniómetros, se han debido resolver las siguientes cuestiones: localización de marcas anatómicas para la correcta ubicación y alineación de los goniómetros, procedimiento para la toma del origen de medidas angulares, descripción del rango de movilidad articular y procedimiento de normalización de las medidas angulares.

### **Evaluación de trabajos repetitivos en una industria cárnica**

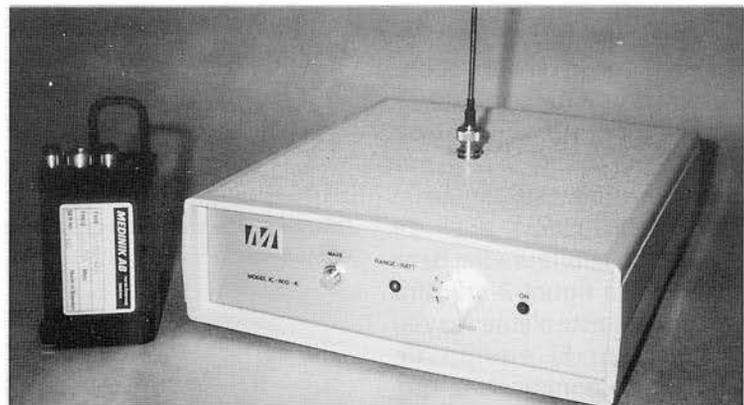
Con el fin de valorar la adecuación de las técnicas, se ha efectuado una evaluación ergonómica de los factores de riesgo en varios puestos de

trabajo reales. La factoría donde se ha realizado la evaluación, la planta de la empresa de OSCAR MAYER de Tabernes Blanques, está dedicada a la transformación integral de productos cárnicos procedentes del cerdo; está organizada como un sistema de producción en cadena, en que los elementos van siendo sometidos a operaciones en serie; gran parte de los trabajos pueden englobarse en la denominación general de trabajos repetitivos.

La evaluación se ha realizado siguiendo la metodología general de análisis ergonómico, investigando la cadena causa efecto en orden inverso. Así el estudio comienza por el análisis de los registros epidemiológicos, lo cual permite seleccionar los puestos de trabajo a evaluar, aquéllos con mayor incidencia de lesiones musculoesqueléticas acumulativas. Posteriormente se ha procedido a registrar la res-

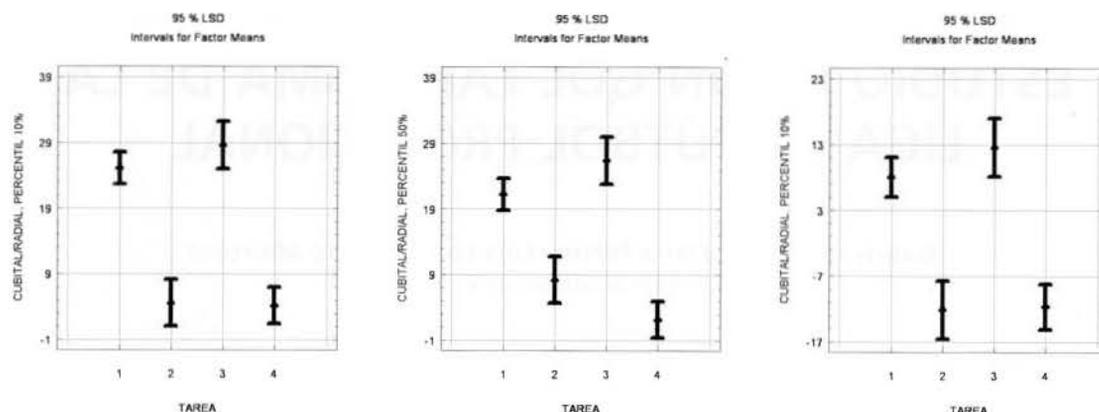


*Figura 4. Electrodos superficiales*



*Figura 5. Equipos de telemetría*





**Figura 6. Anova tarea-percentiles de desviación cubital/radial (10 %, 50 % y 90%).**  
Tareas: 1=atado, 2=deshuesado, 3=clasificación, 4=despiece

puesta de los trabajadores ante la tarea, utilizando las técnicas de registro de parámetros biomecánicos (EMG y goniometría) junto con otros métodos clásicos de análisis (filmación en video de las tareas). También se estudió la configuración general del puesto de trabajo (acotación del puesto y de las herramientas).

Las tareas a analizar son tres, denominadas atado (de embutidos), deshuesado (de jamones) y despiece (de medios canales). La primera se caracteriza por ser puramente manual, sin la utilización de herramienta alguna, además de por la alta frecuencia y velocidad de los movimientos de manos y brazos. En las otras dos tareas se utilizan cuchillos como herramienta principal de trabajo, y se efectúan a velocidad sensiblemente menor que la anterior, pero con mayor nivel de esfuerzo manual. El análisis se complementa con el registro de una tarea adicional, la clasificación (de trozos de magro), cuya incidencia de lesiones es mucho menor, y que se toma como referencia de comparación; para esta tarea se utilizan cuchillos, pero con un nivel de esfuerzo menor

que en el despiece y deshuesado, y con una velocidad de movimientos menor que en el atado.

Se han realizado mediciones en 11 trabajadores de los 4 puestos de trabajo citados, con un total de 37 registros de electromiografía y goniometría, junto con filmaciones de video y acotación de los puestos de trabajo. Cada registro tiene una duración aproximada de 10 minutos. Las medidas de ángulos de desviación radial/cubital y de flexión/extensión de la muñeca, y de la señal EMG (previamente convertida en valor eficaz, o RMS), se han muestreado a una frecuencia de 30 Hz, siendo almacenados en un ordenador portátil.

El análisis de los registros permite detectar diferencias significativas entre las tareas, tanto por el nivel de esfuerzo muscular y su patrón, como por el rango de movimiento articular o la frecuencia de los movimientos. Las diferencias obtenidas en los análisis permiten explicar la distinta incidencia de lesiones entre tareas revelada por los registros epidemiológicos. El análisis realizado está basado en el estudio de los siguientes

parámetros: percentiles de actividad electromiográfica normalizada, que describen el nivel estático, medio y dinámico del esfuerzo; percentiles bajos, medios y altos de desviación cubital/radial y de extensión/flexión en la muñeca; movilidad articular en ambos ángulos, descrita como diferencia entre los percentiles altos y bajos de los ángulos articulares; frecuencias del 50% y 90% de la potencia espectral acumulada de las señales. El principal método de análisis estadístico utilizado es el análisis de la varianza. El estudio también permite comprobar la validez de las técnicas y del equipo de registro para su utilización en condiciones de campo.

La figura 6 muestra, a modo de ejemplo, los análisis de varianza, para los percentiles 10%, 50% y 90% del ángulo de desviación cubital/radial; se diferencian las tareas de atado y clasificación, con ángulos de desviación cubital más acusados, las tareas de despiece y deshuesado muestran desviación radial acusada en percentiles bajos, es decir, en un porcentaje pequeño del ciclo de trabajo.

□