

*El hombre es un ser que vive cíclicamente  
y ni siquiera la no realización de tarea alguna  
le permite escapar  
del fenómeno de la fatiga*

## La fatiga en Medicina del Trabajo

**F**ATIGA es el nombre asignado a un identificable complejo que, en general, describe una disminución de la capacidad para continuar realizando una actividad. Es un concepto que forma parte habitual de nuestra vida, cuya aplicación se ha generalizado a nuestro entorno, pero cuyo íntimo conocimiento deja todavía mucho que desear. Si nos preguntáramos acerca de nuestro concepto de fatiga, contestaríamos diciendo que es "una sensación de cansancio que sobreviene después de realizar una cierta cantidad de trabajo y que nos impide seguir realizándolo o nos hace cada vez más penosa su realización" y aunque la mayoría de nosotros relacio-

Drs. JOSE TORRES HUERTAS  
ALEJANDRO EVLAMPIEV ORTIZ  
*Servicios Médicos de Sociedad Minera  
Metalúrgica Peñarroya*

naría de forma inmediata fatiga y cansancio muscular o fatiga muscular:

- hay otros tipos de fatiga
- tiene componentes objetivos y subjetivos
- tiene umbrales distintos para distintos individuos
- en un mismo individuo tiene también umbrales distintos dependiendo de otras circunstancias físicas y psíquicas.

Bartheley (1947), definía la fatiga como "aquella expresión que com-

prende todos los cambios determinables en la manifestación de una actividad, que puede producirse durante el ejercicio continuado de la misma en condiciones operativas normales y que conducen inmediatamente o después de cierto tiempo al decaimiento de la expresión de esta actividad o, simplemente, a resultados de esta actividad no deseables", en definitiva, decía Bartlett (1953) "una reducción de la aptitud para trabajar a causa del trabajo anterior". En términos parecidos se expresaba A. Gallego (1970) que definía la fatiga como "la incapacidad funcional reversible provocada por la repetición, prolongada excesivamente, de un acto funcional".

Aún cuando el concepto de fatiga se ha extendido más allá de la biología, hay que resaltar una profunda diferencia, ya que, así como la fatiga de un material sólo aparece si se le somete a un esfuerzo excesivo, en los seres vivos la aparición de la fatiga es una de sus características.

El hombre es un ser que vive cíclicamente y ni siquiera la no realización de tarea alguna le permite escapar del fenómeno de la fatiga, entendida como la incapacidad de permanecer de forma permanente en estado de vigilia.

## ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES DE LA FATIGA

Con la moderna tecnología se han eliminado muchos puestos de trabajo pesados, no obstante, todavía quedan otros en los que, por diferentes motivos, se realiza un importante esfuerzo físico. Al mismo tiempo, los nuevos puestos de trabajo con menor esfuerzo físico tampoco están exentos de fenómenos de fatiga y, en los países más desarrollados, se asiste a un desplazamiento de la patología laboral, desde la típicamente traumática a otra en donde predominan cuadros cardíacos, sensoriales y psiquiátricos, afectando cada vez más a los cuadros, y obreros especializados.

En la Fig. 1 describimos, siguiendo a Astrand y Rodahl (1977), los factores relacionados con la posibilidad de realizar trabajo muscular. Todos estos factores pueden ser causa de fatiga y también coordinando estos factores podemos disminuir la fatiga.

Esquemáticamente, podemos considerar en el fenómeno de la fatiga:

- Fenómenos locales, que afectan al sistema propiamente estudiado.
- Características somáticas, que pueden ser parcialmente genéticas, depender de la edad, sexo, dimensiones corporales y estado de salud.
- Factores psicológicos, entre los que se incluyen la motivación, la actitud hacia el trabajo, etc.
- Factores en relación con la adaptación y entrenamiento.
- Factores que dependen de las características del medio ambiente laboral (tóxicos, calor, frío, etc.).
- Características de frecuencia y entorno del trabajo.

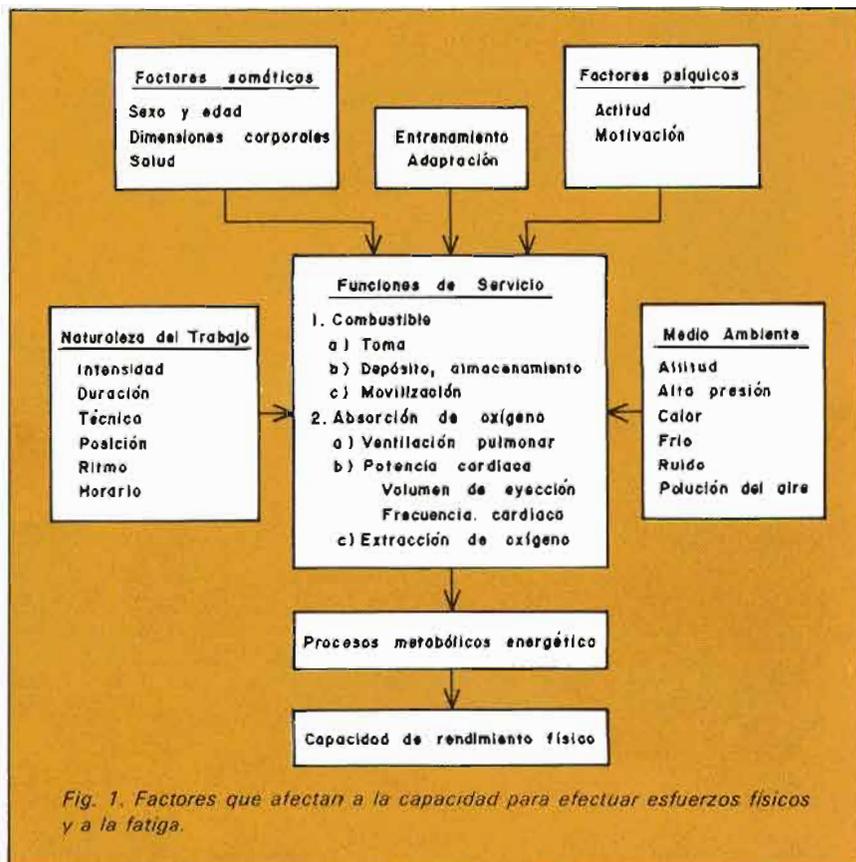


Fig. 1. Factores que afectan a la capacidad para efectuar esfuerzos físicos y a la fatiga.

## FATIGA DEL APARATO LOCOMOTOR

La fatiga muscular produce sensación de cansancio y, en ocasiones, dolor. La Fig. 2 muestra los datos obtenidos en una contracción isométrica. En abscisas se representa la fuerza desarrollada en función de la máxima fuerza posible y, en ordenadas, el máximo tiempo de contracción obtenido.

La máxima fuerza de contracción (MFC) puede ser mantenida sólo unos pocos segundos. El 50 % de la MFC puede ser mantenida alrededor de 1 minuto, pero si la fuerza realizada es inferior al 15 % de la MFC, ésta puede ser mantenida indefinidamente.

Durante muchos años los fisiólogos se han debatido respecto a si la fatiga muscular es de origen central o periférico. Simonson (1971) concluye a este respecto que la fatiga de transmisión en la placa neuromuscular puede ser excluida. Sin embargo, Stephens y Taylor (1972) han presentado datos en humanos en donde concluyen que existen evidencias de que la máxima contracción voluntaria, la fatiga en la unión neuromuscular, es muy importante al principio (durante el primer minuto), para más tarde incrementarse

la fatiga en los elementos contráctiles. En resumen, en una máxima contracción que dure más de un minuto, hemos de buscar los factores que provocan la fatiga en los elementos contráctiles.

Desde hace tiempo se ha considerado que el origen de la fatiga muscular está relacionado con la irrigación sanguínea del músculo. En efecto, en cada contracción, el músculo consume energía, se forman metabolitos, el oxígeno disponible es utilizado con la consiguiente producción de dióxido de carbono, agua y calor. Si consideramos que la presión sistólica en reposo es aproximadamente de 120 mm. Hg. y que durante el ejercicio puede llegar a 200 mm. Hg., deducimos que el flujo sanguíneo a través de un músculo activo puede estar parcial o completamente bloqueado. De acuerdo con los datos de Edwards y cols. (1972), la presión intramuscular en el cuádriceps femoral excede a la presión arterial sistólica cuando la tensión alcanza el 25 % de la contracción máxima voluntaria. Otros autores (Simonsen y Luid, 1971) encuentran que si la tensión supera el 33 % de la CMV, hay un decrecimiento del flujo sanguíneo, que se detiene cuando se llega al 70 % de la CMV. En resumen, cuando la con-

tracción voluntaria supera el 20-30 % de la máxima, se produce una disminución del aporte de oxígeno y una desviación del metabolismo aerobio de la célula muscular hacia un metabolismo anaerobio, aumentando la producción de ácido láctico.

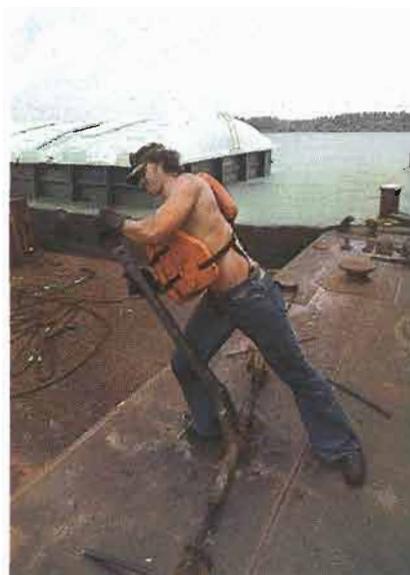
En la contracción dinámica o isotónica, se produce periódicamente una disminución del flujo que puede ser parcial o total. En los ejercicios que incluyen frecuentes contracciones dinámicas, el gasto energético es relativamente alto y puede ser mantenido por largos periodos de tiempo siempre que la fuerza de contracción no supere el 10-20 % de la máxima contracción isométrica. En sujetos que realizan rítmicamente contracciones isométricas máximas, la tensión decrece gradualmente a causa de la fatiga hasta que llega a un valor que puede ser mantenido durante largo tiempo. La capacidad óptima de trabajo aparece cuando la relación entre el tiempo de contracción y el de descanso es de 1:2.

En resumen, la habilidad de las fibras musculares para mantener una

alta tensión sin que aparezcan signos subjetivos de fatiga depende, de forma importante, del flujo de sangre a través del músculo. Al ser limitado el flujo sanguíneo, no sólo se reduce la cantidad de  $O_2$ , sino que también impide la adecuada movilización de los metabolitos formados, el calor producido y la acumulación de ácido y/o hidrogeniones, puede interferir negativamente con los elementos contráctiles.

El fenómeno de la fatiga muscular, está también relacionado con el diseño de la estructura del músculo y de los vasos que lo irrigan, así como con la composición de las fibras musculares. Los primeros aspectos determinan que en un mismo individuo existen músculos de su economía con mayor o menor capacidad que otros para resistir la fatiga. Esto es también aplicable a la composición de las fibras musculares que, además, nos manifiestan las diferencias entre distintos individuos.

En efecto, desde un punto de vista funcional, las células musculares no constituyen un tejido homogéneo. Los músculos están constituidos por dos

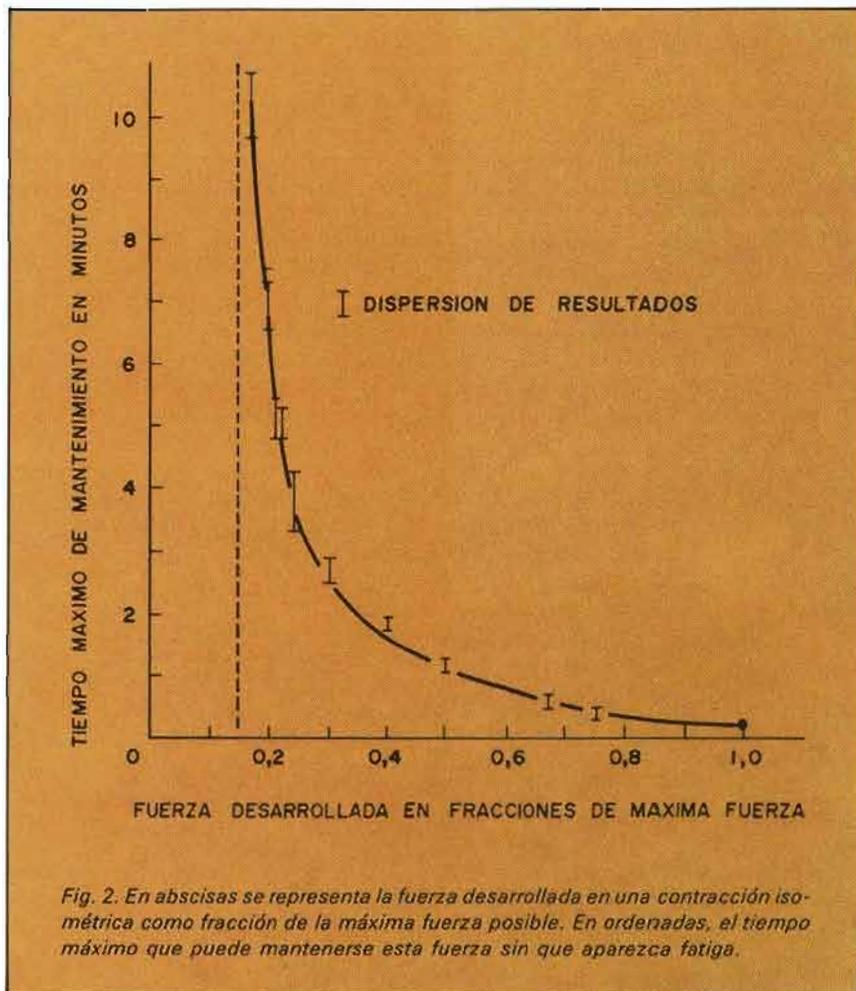


tipos de fibras con diferentes propiedades; en función de su comportamiento mecánico, se han clasificado en fibras tipo I, o de contracción lenta, y fibras tipo II, o de contracción rápida, y sus diferencias se señalan en la Fig. 3. En los músculos de un individuo se encuentran fibras de ambos tipos en distinta proporción y características, pues la relación entre ambas para cada uno, parece estar genéticamente determinada. Desde el punto de vista de la fatiga las fibras tipo I son las más resistentes y forman la mayor parte de los músculos antigravitatorios. Todos los estudios parecen indicar que la composición muscular está genéticamente determinada y este hecho no puede ser cambiado por el entrenamiento.

De forma global, la máxima capacidad de trabajo muscular que puede realizar un individuo viene determinada por la máxima potencia aeróbica, entendida como la más alta cantidad de oxígeno en litros/mínuto que puede obtener un individuo realizando un trabajo, mientras respira aire al nivel del mar.

La medida de la máxima potencia aeróbica, midiendo la mayor tasa de  $O_2$  inspirada, se realiza habitualmente en laboratorios de fisiología, con métodos difícilmente aplicables en el medio de trabajo; sin embargo, existe una estrecha correlación entre la máxima potencia aeróbica y la frecuencia cardíaca en individuos sanos Fig. 4.

Finalizando este estudio y con independencia de otras consideraciones en lo que a fatiga muscular se refiere,



PROPIEDAD	TIPO I Fibras de contracción lenta	TIPO II Fibras de contracción rápida
Actividad miofibrilar ATPase (a 9.4 pH)	bajo	alto
Actividad de la enzima mitocondrial	alto	bajo
Actividad de la enzima glicogenolítica	bajo	alto
Contenido de glicogeno	Indiferenciado	
Contenido de mioglobina	alto	bajo
Contenido capilar	alto	bajo
Velocidad de contracción	bajo	alto
Resistencia	alto	bajo

*Fig. 3. Clasificación de las fibras del músculo esquelético humano basada en datos histoquímicos y algunas propiedades funcionales.*

se han establecido las siguientes conclusiones para disminuir la misma:

1. Aparecen signos subjetivos de fatiga al final de la jornada, cuando la medida de la carga de trabajo excede al 30-40 % de la máxima capacidad aeróbica del individuo y signos ciertos de la misma si la carga supera el 50 % de MCA.
2. Si la carga movida por un grupo muscular supera al 80 % de la máxima contracción, sólo 10 contracciones por minuto pueden ser mantenidas, pero si la carga desciende al 60 % de la MCV, se puede mantener una frecuencia de contracción de 30/minuto.
3. En trabajos pesados hay que evaluar una adecuada distribución de turnos de descanso y trabajo, así como una adecuada frecuencia de las comidas.

## FISIOLOGIA DE LA POSTURA

La posición erecta es mantenida por la actividad muscular contra la fuerza de la gravedad. En esta posición si no se levanta o traslada carga alguna, todas las articulaciones que intervienen (occipito-atloidea, intervertebrales, coxo-femorales, rodillas, tobillos y metatarso) no se encuentran absolutamente fijadas por sus cápsulas, ligamentos y grupos musculares. La mayoría de los músculos antigravitatorios están formados por fibras tipo I (tóni-

cas, lentas) y mantenidas en un ligero estado de contracción, mediante el feed-back originado en el lazo de células gamma de los husos musculares. Los impulsos que provienen de los ojos, aparato vestibular y talón del pie, son especialmente importantes para modificar la actividad de las motoneuronas alfa.

La postura erecta libre se caracteriza por un movimiento periódico en donde el centro de gravedad varía con respecto a su proyección en el suelo con una frecuencia de 5-6 ciclos/minuto. Con los ojos cerrados o en la oscuridad este movimiento pendular es más pronunciado. La alternativa actividad-inactividad de las unidades motoras envueltas en el movimiento pendular, previene la fatiga y facilita el flujo de sangre a través de los músculos, mejorando el retorno venoso. No obstante la posición erecta causa fatiga producida por una inadecuada distribución de la sangre. El mantenimiento de una carga provoca mayor contracción de los músculos antigravitatorios y disminuye o anula el movimiento pendular provocando la pronta aparición de la fatiga, que no guarda relación con el peso soportado.

En general, en cualquier postura del tronco o de los miembros, la fatiga disminuye cuando los músculos implicados adoptan una longitud cercana a la de reposo y las articulaciones adoptan configuraciones cercanas a la denominada posición anatómica, al mismo tiempo esta postura es la que permite

una mayor tensión muscular, o, si se quiere, un mayor trabajo disponible.

Directamente relacionado con la postura de trabajo, está el fenómeno del levantamiento de cargas y la patología laboral con él relacionada. Entre todas las estructuras óseas del cuerpo humano, la columna vertebral juega un papel especial, siendo el eje sobre el que mantenemos la posición erecta y está sujeta a un complejo sistema de fuerzas y tensiones diferentes. En particular, en el problema del levantamiento de cargas con las manos, se produce una palanca cuyo fiel se encuentra en el núcleo pulposo del disco de la quinta vértebra lumbar; la resistencia está en el peso que se levanta y el peso del cuerpo por encima de este disco y la potencia, es ejercida fundamentalmente por los músculos paravertebrales. Morris y cols. (1961), han calculado que si un hombre de 77 Kg. levanta con sus manos un peso de 90 Kg. la fuerza ejercida sobre el disco lumbosacro es de cerca de 8.000 Newt. si el papel del tronco es omitido. Esta fuerza es muy superior a la que puede soportar sin fallo de su estructura el disco intervertebral y los ligamentos que lo sostienen que dicen ser entre 4.400 y 7.600 N. que, en sujetos de edad puede descender hasta 1.500 N.; sin embargo, en una serie de experimentos, Morris y cols. (1961) demostraron que la columna vertebral es mantenida en su lugar mediante un mecanismo reflejo en el que, al intentar levantar una carga pesada, se produce una contracción de los músculos del tronco, abdomen y diafragma. Tronco y abdomen forman dos rígidos cilindros que incrementan notablemente la presión intratorácica e intraabdominal, fijando la columna y distribuyendo la fuerza ejercida. Este mecanismo reflejo que incluye una pausa inspiratoria tiene como consecuencia:

- Impedir desplazamientos laterales de la columna.
- Redistribuir las fuerzas a todos los grupos musculares en acción, disminuyendo en más del 30 % el esfuerzo sobre el disco de la quinta vértebra lumbar.
- El aumento de la presión intraabdominal puede ser causa de hernias.

Como aplicación de lo anterior debe adiestrarse a los trabajadores a levantar cargas sin flexionar el tronco y utilizando preferentemente los músculos extensores de los miembros inferiores.

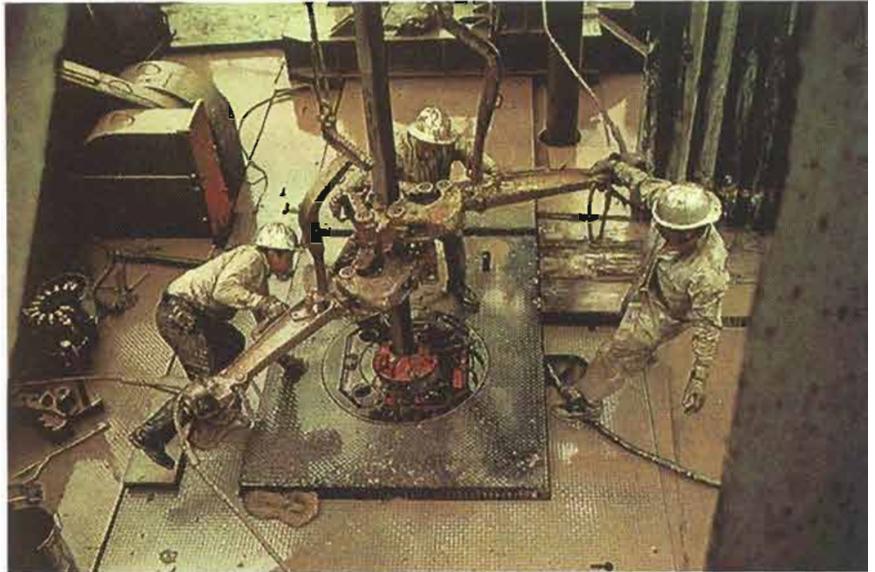
## FATIGA VISUAL

### Adaptación

La denominación de fatiga visual está relacionada con el trabajo a desarrollar, los posibles pequeños defectos de algunas funciones visuales muy frecuentes en la población y las condiciones físicas en que se desarrolla el trabajo, en especial, las condiciones de iluminación. Como todo fenómeno de fatiga, posee componentes objetivos y subjetivos y, por lo tanto, está muy ligado a la respuesta específica de cada sujeto. En este capítulo nos proponemos repasar los hechos objetivos conocidos y estudiar lo que denominaremos condiciones óptimas, capaces de disminuir la fatiga visual.

### Funciones de acomodación y convergencia

La función de acomodación del ojo está determinada por el cristalino que, merced a los cambios de sus curvaturas permite que la imagen se forme a nivel de la retina. El poder de acomodación de esta lente biológica varía con la edad, desde 4 cm. a 6 m. en el



joven de 20 años, hasta 60 cm. y 6 m. en el individuo de 60 años; esta pérdida de poder de acomodación con la edad, se denomina presbicia. Siempre que se mire un objeto situado a menos de 6 m. (por un ojo emélope), se pone en marcha el proceso de acomodación, por lo que se aumenta la curvatura de la cara externa del cristalino,

relajándose los ligamentos suspensorios por contracción de los músculos ciliares. Al mismo tiempo se produce una constricción pupilar para hacer que el haz luminoso intercepte al cristalino por su parte central. Son sin duda los grupos musculares sometidos a mayor actividad de nuestra anatomía excepto los que forman las paredes cardiacas.

La función de convergencia, relacionada con la visión binocular, nos determina la posición de un objeto en el espacio así como su estado de reposo o movimiento. Consiste en dirigir los dos ojos hacia el mismo punto y obtener de él dos imágenes nítidas (una por cada ojo) y superpuestas. Para realizar la convergencia es necesario mover coordinadamente los músculos extensores de los ojos que orienten los ejes oculares y los intrínsecos para realizar la acomodación en su doble aspecto. Al fijar la vista en puntos situados a distinta distancia y/o en movimiento, estamos construyendo estos grupos musculares.

La causa más importante en el fenómeno de fatiga visual, reside en una fatiga muscular pero, como hemos dicho al principio, más de un 10% de la población tiene defectos visuales de la acomodación y/o de la convergencia. Estos defectos pequeños que habitualmente pasan inadvertidos son, caso de esfuerzo importante, motivo de un aumento en la patología subsidiaria, de un incremento en la fatiga visual.

La iluminación es, sin duda, de excepcional importancia en el problema de la fatiga visual y en muchos casos el determinante de la misma.

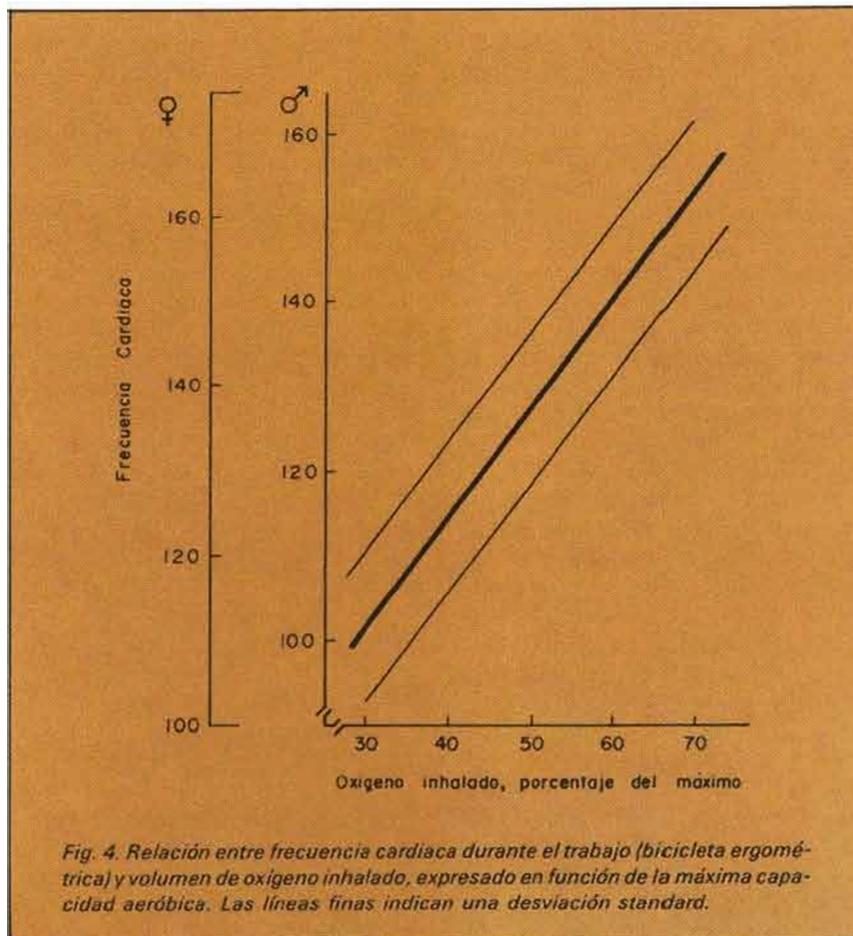


Fig. 4. Relación entre frecuencia cardíaca durante el trabajo (bicicleta ergométrica) y volumen de oxígeno inhalado, expresado en función de la máxima capacidad aeróbica. Las líneas finas indican una desviación standard.

Las características de la iluminación: intensidad del foco luminoso, brillo, contraste, etc., inciden sobre la aparición de fatiga visual porque afectan a la capacidad de acomodación y, en particular, a las variaciones en el diámetro pupilar, que está en función de la cantidad de luz que incide sobre la retina. El movimiento en la dirección de la visión a objetos de distinto brillo con valores elevados de contraste y en ocasiones con centelleo, originará un sobreesfuerzo de los músculos ciliares responsables de la fatiga visual.

Sabido es que la mayor capacidad o mejor agudeza visual nos la proporciona la imagen foveal, en donde la densidad de conos es máxima y la de bastones mínima, por lo que la retina tiene distinto poder de discriminación en función de la intensidad luminosa. Por tanto, en función del grado de iluminación y la composición de los colores, los esfuerzos de acomodación serán mayores o menores. Otro hecho es el efecto psicológico que el color tiene sobre nosotros, y puesto que en los fenómenos de fatiga tiene gran importancia el componente psíquico, la elección de colores que rodean el puesto de trabajo debe ser un factor a considerar.

## FATIGA AUDITIVA

### Trabajo en ambiente ruidoso

El estudio de la fatiga auditiva está determinado por un gran componente subjetivo que acompaña al sentido de la audición. Naturalmente, no nos queremos referir a aquellos niveles de presión sonora capaces de originar daño irreversible de la función auditiva o hiperacusia profesional, sino al fenómeno complejo del ruido como causa coadyuvante de la fatiga en el medio laboral.

La causa de la fatiga auditiva en un órgano tan complicado mecánicamente como el oído, reside en mayor o menor medida en todos sus componentes y el fenómeno de fatiga, que sabemos es función de la intensidad del sonido y de la frecuencia, viene delimitado porque el mayor grado de protección a estímulos intensos se produce principalmente a bajas frecuencias. En la sintomatología de la fatiga auditiva predominan los efectos psicológicos fundamentalmente, salvo que la presión sonora exceda a los umbrales dolorosos anteriormente mencionados. Se describe como un

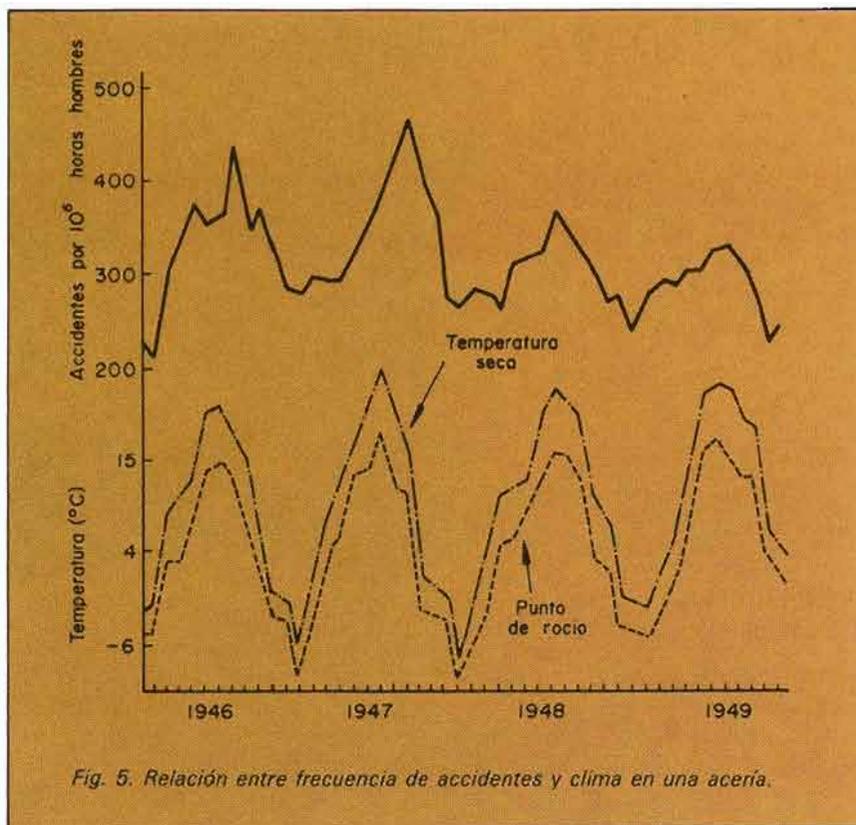


Fig. 5. Relación entre frecuencia de accidentes y clima en una acería.

aumento de la irritabilidad, falta de concentración para el trabajo intelectual, sensación de cansancio excesivo y cefaleas persistentes. Puede venir acompañado de alteraciones digestivas (náuseas) y disminución de la capacidad de control muscular. Existe pérdida de la capacidad auditiva que puede durar varios días en función del grado de fatiga, demostrable fácilmente mediante la realización de audiometrías seriadas. No es desdeñable el efecto que el exceso de ruido habitual puede desencadenar en el fenómeno del "stress" y que en parte puede explicarse por la sintomatología anteriormente descrita.

El fenómeno de la fatiga auditiva llevado a un mayor grado, conduce a la sordera profesional, cuyas repercusiones en cuanto a calidad de vida e indemnizaciones son de gran importancia en el mundo industrial.

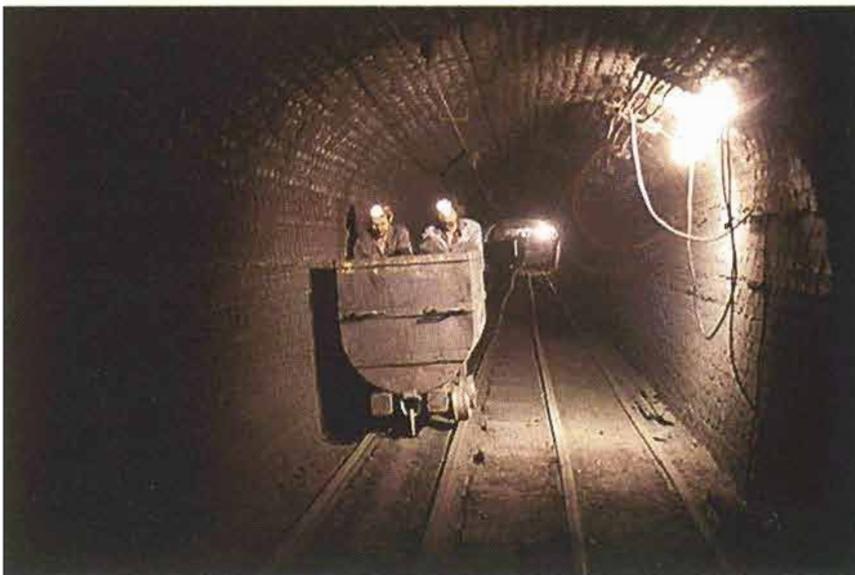
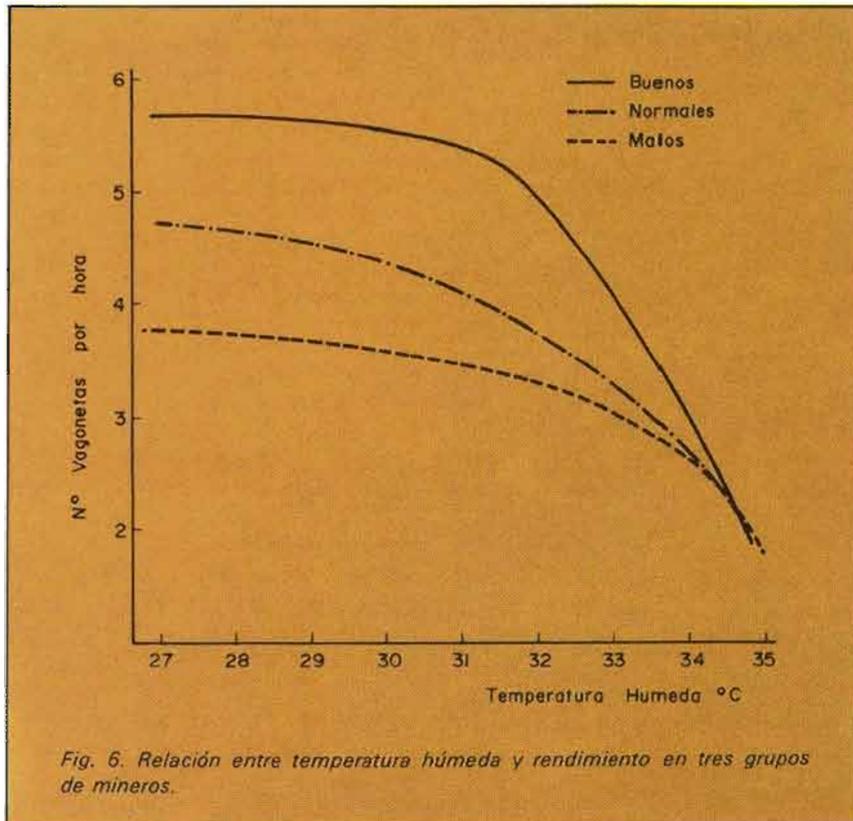
## FATIGA EN LOS AMBIENTES CON SOBRECARGA TERMICA

Que la sobrecarga térmica condiciona de forma primordial la fatiga del trabajador, es un hecho tan conocido que apenas merece comentario alguno. Este incremento de la fatiga tiene, como resultado objetivo, una disminución de los mecanismos de

alerta del trabajador, lo que se corresponde con un aumento del número de accidentes. En la Fig. 5, recogemos, tomado de Garrido y Pérez (1981), un estudio realizado por Belding, H. S. (1960) en el que demuestra una estrecha relación entre la temperatura ambiente y el número de accidentes de los trabajadores de una acería. Otro factor, objetivamente medible, relacionado con la carga térmica, es la disminución del rendimiento en los trabajadores. A este respecto y tomado de los mismos autores, mostramos en la Fig. 6 el descenso de rendimiento de mineros en un trabajo de Wyndhani (1973), en el que demostró, al clasificar a los trabajadores en tres grupos, que la disminución de rendimiento era función directa de la temperatura húmeda ambiental y que afectaba a los tres grupos por igual, independientemente de su motivación y profesionalidad.

### El circuito feed-back de temperatura

En el hombre y en los demás seres homeotermos, la regulación de la temperatura corporal es esencial para el mantenimiento de la vida y pese al amplio margen de temperaturas exteriores en el que puede vivir, sus siste-



mas de regulación han de mantener el interior del organismo a una temperatura próxima a los 37° C. Esta referencia de temperatura varía con el individuo y está sometida a un cierto ritmo circadiano (mínima de madrugada y máxima por la tarde), todo ello con amplitudes no superiores a 1° C (en las mujeres depende también de la fase del ciclo ovárico). En condiciones no patológicas esta temperatura del interior del organismo puede variar entre 35,5° C y 40° C (Fig. 7). La

importancia de los mecanismos de regulación se pone de manifiesto si consideramos que el rango anterior puede ser mantenido para cualquier individuo sano, desnudo, sometido a temperaturas exteriores entre 12° C y 60° C aproximadamente.

La temperatura del organismo es regulada casi enteramente por mecanismos de retroalimentación nerviosos, en los cuales interviene un centro de regulación de la temperatura situado en el hipotálamo. Los recep-

tores que miden la temperatura del interior, son muchas neuronas sensibles situadas en la región preóptica del hipotálamo anterior. Los centros hipotalámicos han de considerarse como centros integradores de toda la información que acerca de la temperatura tanto interna como de la superficie es conducida hacia ellos a partir de receptores cutáneos, abdominales, de distintos órganos internos y de la propia médula espinal, en donde constituirían los primeros relés en los mecanismos reflejos. La Fig. 8, muestra un esquema muy simplificado del posible circuito feed-back, cuando actúa ante la carga térmica excesiva que es, de los dos aspectos, el único que vamos a considerar a continuación.

El cuerpo humano, de acuerdo con las leyes físicas de transmisión de calor, gana o cede en función de la diferencia de temperaturas con el medio ambiente, por los mecanismos de conducción, convección y radiación; estos tres mecanismos, en el caso de ambientes con sobrecarga térmica, deben considerarse como de ganancia de calor, al que hay que agregar el importante factor del calor endógeno producido en la degradación metabólica y como consecuencia del esfuerzo muscular. De lo anterior se infiere que el mecanismo de pérdida de calor es la evaporación del sudor. Con cada gr. de sudor evaporado se produce una pérdida de calor igual al calor latente de evaporación, aproximadamente 540 calorías. En resumen, el balance calorífico del organismo en el caso de ambiente con sobrecarga térmica, puede plantearse como:

$$\Delta Q = R + CV + CO + M - E$$

en donde los símbolos representan: R, calor tomado por radiación; CV, calor tomado por convección; CO, calor tomado por conducción; M, calor endógeno producido y E, calor cedido por evaporación del sudor. Si Q es positivo se incrementará la temperatura corporal a un ritmo de un grado centígrado por cada 58 Kcal. para una persona de 70 Kg. de peso.

Las reacciones del organismo ante el incremento de temperatura corporal son dos; la vasodilatación periférica y la evaporación del sudor. La vasodilatación periférica es un mecanismo mediante el cual la sangre es llevada desde el interior del cuerpo al exterior y obligada a circular por la

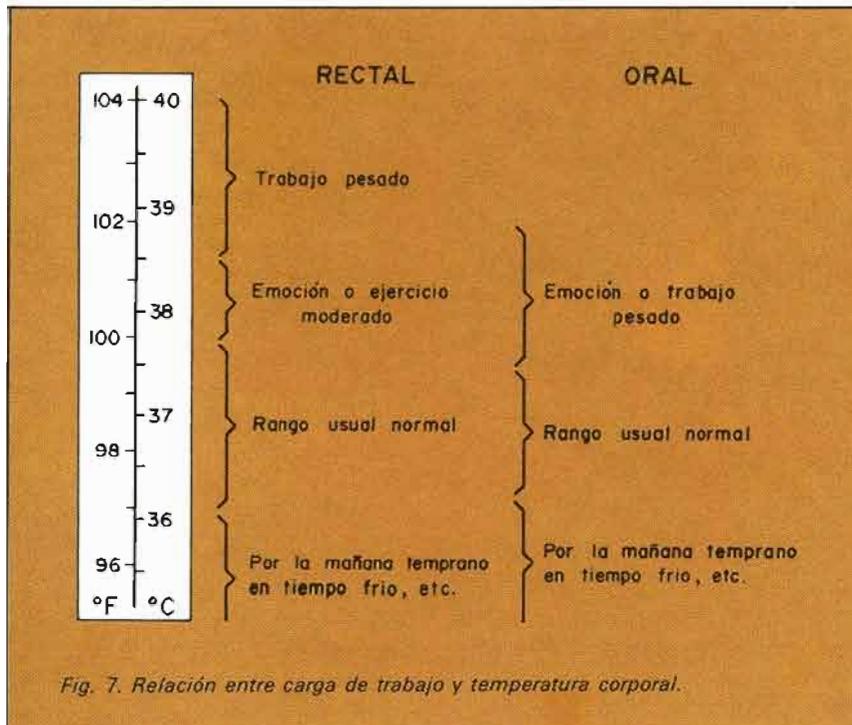


Fig. 7. Relación entre carga de trabajo y temperatura corporal.

periferia en una amplia red venosa. De hecho, en muchas partes de nuestra anatomía y especialmente en los miembros, existen dos redes venosas para el retorno sanguíneo, una superficial y otra profunda, cuya mayor o menor participación relativa es función del mecanismo que comentamos. Este sistema está controlado por fibras simpáticas que varían el grado de constricción de las arterias y las anastomosis arteriovenosas que envían sangre al plexo venoso subcutáneo. Su importancia hemodinámica es tal que pueden modificar enormemente el gasto cardíaco, desde 0 al 30% del mismo. Este último factor explica la relación entre carga térmica y frecuencia cardíaca. La evaporación del sudor es un fenómeno que comienza en la estimulación de las glándulas sudoríparas a partir de estímulos originados en el área preóptica del hipotálamo anterior que, vía médula espinal, es distribuido a la piel de todo el cuerpo. La intensidad del sudor en ambientes de sobrecarga térmica, puede llegar en personas muy acostumbradas al calor hasta cuatro litros por hora. La eficacia del sudor para disminuir la temperatura corporal, depende del vestido, de la velocidad del aire y del estado higrométrico del mismo. Este último factor es muy importante y si el grado de saturación de vapor de agua en el aire ambiental es muy alto, existe gran dificultad para la evaporación del

sudor, que entonces, de forma líquida y no eficaz, resbala a lo largo de la piel. Esta es la razón por la que es difícil soportar temperaturas no muy elevadas en climas húmedos.

#### Aclimatación al calor

Los mecanismos anteriormente mencionados de resistencia al calor poseen una cierta inercia y tardan algún tiempo en funcionar a pleno rendimiento, es el denominado tiempo de aclimatación al calor.

En efecto, la respuesta inmediata al incremento de volumen circulatorio que produce la vasodilatación, es un aumento de la frecuencia cardíaca. Esta frecuencia cardíaca va disminuyendo progresivamente a favor de un aumento del volumen de eyección con la consiguiente mejora de la capacidad de las fibras del miocardio. En definitiva, la sobrecarga térmica brusca provoca una vasodilatación con la consiguiente hipotensión arterial y aumento de la frecuencia cardíaca. Los fenómenos de hipotensión provocan una sensación de astenia y laxitud muscular que son los primeros síntomas de la persona no aclimatada.

**Capacidad de sudoración:** inicialmente el sudor es emitido en menor cantidad y con una concentración de electrolitos análoga a la del plasma. La pérdida de sodio estimula la secreción adrenal de aldosterona, y, la de agua, la de hormona antidiurética,

emitiéndose inicialmente orinas muy concentradas y de poco volumen. En el transcurso de pocos días la concentración de electrolitos en el sudor disminuye aproximadamente a la mitad, mientras que se incrementa el volumen total de la secreción.

#### Efectos del calor excesivo

Como ya hemos indicado, el primer efecto que la sobrecarga térmica puede tener, es sobre el aparato circulatorio. El incremento de la frecuencia cardíaca y el aumento de necesidades de oxígeno del miocardio puede producir en algunas personas alteraciones de conducción, arritmias y déficit relativo de oxígeno (angor), si además, tenemos en cuenta que a la acción de lucha contra la sobrecarga térmica se añade la sobrecarga cardíaca inducida por el sobre esfuerzo muscular, esto nos permite sugerir cierta cautela ante el trabajo de personas mayores, no entrenadas, y cuyo corazón, sano, tenga que ser llevado a unas condiciones límites. El siguiente efecto a estudiar, es el balance de agua y electrolitos; la eliminación de grandes cantidades de sudor, provocará inicialmente una pérdida de agua y electrolitos poniendo en marcha el mecanismo de la sed. La ingestión de agua es habitualmente suficiente para la restauración del equilibrio, contando con los electrolitos que se ingieren en una dieta habitual, sin embargo, en ocasiones y durante la aclimatación, puede llegarse a una deprivación de estos últimos (lo que se anuncia por la aparición de calambres musculares), y es necesario suministrar además cloruro sódico y zumos cítricos, para restaurar el equilibrio.

#### RITMOS CIRCADIANOS. FATIGA DE LOS TRABAJADORES A TURNOS

Los seres humanos tenemos una gran variedad de funciones fisiológicas, tales como la frecuencia cardíaca, la temperatura rectal, la secreción de ACTH, etc., que muestran distintos ritmos a lo largo de las 24 horas, con unos valores menores o mínimos durante la noche y máximos durante el día. Este fenómeno es conocido como ritmos circadianos y parecen ser regulados y automantenidos por distintos relojes biológicos. Estos fenómenos ocurren para la gran mayoría de los individuos y sólo unos pocos parecen tener algunos ritmos disociados (Folk, 1974).

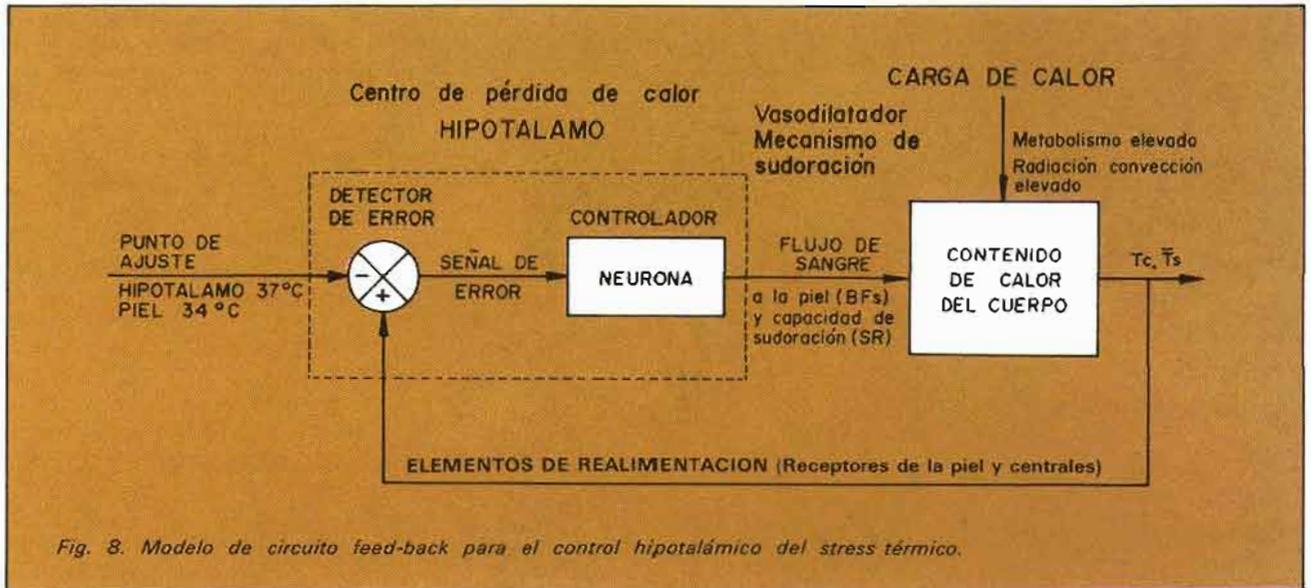


Fig. 8. Modelo de circuito feed-back para el control hipotalámico del stress térmico.

Estas variaciones rítmicas se asocian generalmente con cambios en el rendimiento y especialmente, como demostró Colqhoun (1971), con el ritmo de la temperatura corporal, observando una mayor incidencia de respuestas equivocadas en operadores de consolas eléctricas entre las 2 y

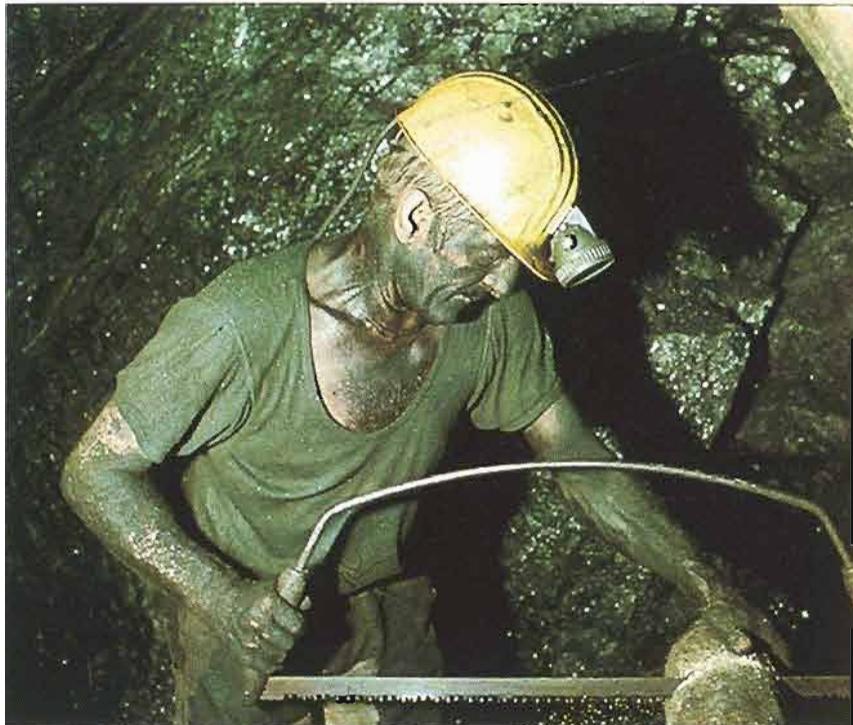
las 4 de la mañana, que durante el día. Todos los ritmos circadianos estudiados parecen distintas manifestaciones del mismo proceso que hace de nosotros seres de actividad diurna y de reposo nocturno. Sin embargo, desde hace generaciones, el ritmo de trabajo industrial ha impuesto la ocupación

del puesto de trabajo durante veinticuatro horas y el establecimiento más generalizado de equipos de trabajo con distintos tipos de rotaciones. Muchas observaciones acerca de la penosidad del trabajo a turnos, se refieren a un gran conjunto de aspectos, tanto físicos, psíquicos como sociales y el problema dista mucho de haberse resuelto.

Desde el punto de vista físico, las consecuencias del trabajo a turnos no son muy importantes para la salud, si exceptuamos las frecuentes alteraciones digestivas, desde la dispepsia a la úlcera, ocasionadas la mayor parte por la conservación de malos hábitos alimenticios, en relación con estos puestos de trabajo. Otro fenómeno ligado al anterior y bastante frecuente es el de la obesidad relativa de estos trabajadores. Es sin duda el aspecto social y familiar, la más importante causa de problemas de estas personas, que se acompaña habitualmente de una mayor tasa de accidentes, un aumento del absentismo y un disminución de la productividad.

Un problema muy debatido es el establecimiento del calendario de rotación óptimo, es decir, el que permita minimizar los efectos del trabajo a turnos. Los estudios realizados en voluntarios sanos, acerca de la duración de la inversión de los ritmos circadianos, como demuestra Vokaz y Rodahl (1975), indican que se necesitan varias semanas para lograr esta inversión. De éste y otros experimentos se deduce, que aquellos trabajadores que rotan semanalmente, se encuentran continuamente en ritmos de trabajo disociados de sus ritmos circadianos.





En la actualidad entre otras soluciones que tienden a acortar la jornada nocturna, a favor de los dos turnos de día, se está recomendando de nuevo la rotación rápida de los mismos, en el sentido habitual de mañana, tarde y noche y con desplazamiento diario.

#### INTEGRACION DE LOS DISTINTOS TIPOS DE FATIGA

La fatiga es un fenómeno complejo provocado por múltiples causas, algunas de las cuales hemos revisado anteriormente. Si volvemos por un momento al concepto de fatiga del Prof. Gallego, como "aquella incapacidad funcional reversible provocada por la repetición, prolongada excesivamente, de un acto funcional", no debemos olvidar que la fatiga es para el organismo un mecanismo de defensa

y un mecanismo de defensa muy importante, pues al no superar las condiciones en las que la fatiga aparece, el fenómeno puede considerarse como reversible. En muchas ocasiones fenómenos que acompañan a los trabajadores y a las condiciones de trabajo hacen que se superen peligrosamente los límites que la aparición de la fatiga impone (trabajo a primas, ascensos, dificultades económicas sobreañadidas, etc.) y el médico del trabajo ha de saber medir de forma objetiva los estados de sobrecarga.

#### Fatiga física total. Evaluación

Como ya hemos advertido, la limitación más importante del esfuerzo físico la constituye el aparato respiratorio, lo que denominábamos la máxima capacidad aerobia, cuya medida indirecta obteníamos a partir de la fre-

cuencia cardíaca. Este último parámetro puede ser también utilizado para medir la sobrecarga térmica. En resumen, el registro de la frecuencia cardíaca, mediante el sistema Holter, es el más comúnmente utilizado para evaluar la fatiga física total. Cuando no se disponga de este sistema se sustituirá por la toma frecuente del pulso y las limitaciones de duración del trabajo que recogemos en la tabla adjunta.

#### Síntesis de los componentes

Volvemos de nuevo a la Fig. 1 que nos resume magníficamente los componentes que en mayor o menor intensidad intervienen en el fenómeno de la fatiga.

Siendo múltiples las causas de fatiga, ha de ser multidisciplinaria la ciencia encargada de su estudio y disminución. Esta ciencia o disciplina de trabajo es la Ergonomía que constituirá el objeto del próximo trabajo. ■

#### BIBLIOGRAFIA

- (1) ASTRAND AND RODAHL: Textbook of work physiology. Mc. Graw-Hill. New York. p. 451. 1977.
- (2) ASTRAND, I., FUGELLI, P., KARLSSON, S. G., RODHAL, K., and VOKAC, Z.: Energy output and work stress in coastal fishing. Scand. J. Clin. and Lab Invest 31, p. 31 1973.
- (3) BARTLETT, F. C., Psychological criteria of fatigue, en FLOYD, W. F. and WALFORD, A. T.: Symposium of fatigue. London. H. K. Lewis and Co pp. 1-5, 1953.
- (4) BARTHELEY, S. H. and CHUTE, E.: Fatigue and Impairment in man. New York. Mc Graw-Hill, 142-146, 1947.
- (5) EDWARDS, R. H. T., HILL, D. K. and McDONNELL, M. J.: Myothermal and intramuscular pressure measurements in man. J. Physiol. 224:58 p. 1972.
- (6) GALLEGO, A.: Fisiología de la fatiga. Anales del Inst. de Farmacología Española Vol. 15-16, pp. 41-44, 1970.
- (7) GUYTON, A. C.: Tratado de Fisiología Médica, 5.ª edición. Interamericana, Madrid 1977.
- (8) Manual de Prevención para Operaciones Industriales: Consejo Interamericano de Seguridad. Ed. MAPFRE, Madrid, 1981
- (9) MORRIS, J. M., LUCAS, D. R. and BRESLER, B.: Role of the trunk in stability of the Spine. J. Bone Joint Surg. 43 A, 327, 1961.
- (10) SCHILLING, R. S. F.: Occupational Health Practice. Butterworths. London. 1973.
- (11) SIMONSON, E. (ed.): Physiology of work capacity and fatigue. Charles C. Thomas Springfield, 1971.
- (12) SIMONSON, E. and LIND, A. R.: Fatigue in static work in "Physiology of work capacity and fatigue. p. 241, Charles C. Thomas. Springfield, 1971.
- (13) STEPHENS, J. A. and TAYLOR, A.: Fatigue of maintained voluntary muscle contractions in man. J. Physiology 220:1, 1972.

TABLA I

	Descanso	Porcentaje VO <sub>2</sub> máx. requerido				
		25	33,5	50	75	100
Ritmo corazón	60 - 80	90-100	105-110	120-130	150-160	180-190
Temperatura central	37	37,4	37,8	38,2	38,8	Aum.
Tiempo duración trabajo	—	8 h.	8 h.	1 h.	20 min.	4-6 min.