# GASTO ENERGÉTICO
## PROTOCOLO
### Curso de Ergonomía

**EDICION 2008-1**
**FACULTAD INGENIERIA INDUSTRIAL**
**LABORATORIO DE PRODUCCION**

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

# TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN ..... 3
OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA ..... 3
1 CONTENIDO DE LA PRÁCTICA ..... 4
1.1 Explicación teórica ..... 4
1.2 Realización de la práctica ..... 4
2 MARCO TEÓRICO ..... 4
2.1 Trabajo muscular ..... 4
2.1.1 El trabajo muscular en las actividades laborales ..... 4
2.1.2 Fisiología del trabajo muscular ..... 5
2.1.3 Consecuencias de la sobrecarga muscular en las actividades laborales ..... 6
2.1.4 Prevención de la sobrecarga muscular ..... 11
2.2 Valoración del gasto energético ..... 12
2.2.1 Estimación del consumo metabólico a través de tablas ..... 13
2.2.2 Consumo metabólico según el tipo de actividad ..... 13
2.2.3 Consumo metabólico según la profesión ..... 15
2.2.4 Consumo metabólico en tareas concretas ..... 15
2.2.5 Consumo metabólico a partir de los componentes de la actividad ..... 17
2.2.6 Determinación del consumo metabólico mediante medición de parámetros fisiológicos ..... 22
2.3 Límites y normas del consumo energético ..... 26
2.4 Tiempos de reposo ..... 26
3 FUNCIONAMIENTO Y PUESTA A PUNTO DE LOS INSTRUMENTOS ..... 28
4 PASOS PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA ..... 29
5 CONTENIDO DEL INFORME ..... 31
6 BIBLIOGRAFIA ..... 32

## INTRODUCCIÓN

Se puede entender como Carga de Trabajo "el conjunto de requerimientos psico-físicos a los que el trabajador se ve sometido a lo largo de la jornada laboral", se debe que para realizar una valoración correcta de dicha carga o actividad del individuo frente a la tarea hay que valorar los dos aspectos reflejados en la definición, o sea el aspecto físico y el aspecto mental dado que ambos coexisten, en proporción variable, en cualquier tarea.

Aunque, en general, el progreso técnico implica un crecimiento de los requerimientos mentales en detrimento de los físicos en muchos puestos de trabajo, no es menos cierto que aún existen puestos en los que las exigencias físicas siguen siendo elevadas, por lo que es necesario evaluarlas y aportar las medidas correctivas para eliminar en lo posible los trabajos pesados que a la larga sean lesivos para el trabajador, y en ultimas para la productividad de la empresa. Esta práctica de laboratorio pretende analizar y comparar diferentes métodos para determinar el gasto energético en una tarea, es decir, se centra en el componente físico del trabajo.

## OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA

Los objetivos que persigue la correcta realización de esta práctica son:

- Conocer los diferentes métodos de cálculo del gasto metabólico en tareas físicas.
- Aplicar la técnica indirecta de análisis de la frecuencia cardiaca para determinar el gasto metabólico.
- Comprender los mecanismos fisiológicos que intervienen en el desarrollo de una tarea.

## SEGURIDAD PARA LA PRÁCTICA

Para evitar lesiones y accidentes durante la práctica, o daños en los instrumentos utilizados, es necesario tener en cuenta:

- Seguir las instrucciones impartidas por el monitor para la realización correcta de la práctica y tener conocimiento previo del contenido de la misma.
- Presentarse con ropa adecuada que permita desarrollar la prueba física.
- Manejar el equipo según el procedimiento indicado por el monitor, para obtener resultados adecuados y evitar averías en el mismo.
- Las personas que participen en la prueba física no deben padecer ninguna enfermedad cardiaca o respiratoria.

# 1 CONTENIDO DE LA PRÁCTICA

## 1.1 Explicación teórica

| TEORÍA | TIEMPO (min.) |
|---|---|
| -Métodos de cálculo de gasto metabólico | 8 |
| -Estimación del gasto metabólico mediante la frecuencia cardiaca | 5 |
| -Uso de los instrumentos | 5 |
| **Total** | **18** |

## 1.2 Realización de la práctica

| PRÁCTICA | TIEMPO (min.) |
|---|---|
| -Prueba individuo 1 | 18 |
| -Prueba individuo 2 | 18 |
| -Prueba individuo 3 | 18 |
| -Prueba individuo 4 | 18 |
| **Total** | **72** |

# 2 MARCO TEÓRICO

## 2.1 Trabajo muscular

### 2.1.1 El trabajo muscular en las actividades laborales

El trabajo muscular en las actividades laborales puede dividirse, en general, en cuatro grupos: el trabajo muscular dinámico pesado, la manipulación manual de materiales, el trabajo estático y el trabajo repetitivo. El trabajo muscular dinámico pesado lo hallamos en las actividades forestales, agrícolas, metalmecánicas y en la construcción. La manipulación manual de materiales es común, por ejemplo, en las labores de almacenamiento y transporte, mientras que el trabajo estático existe en las oficinas, en la industria electrónica y en las tareas de mantenimiento y reparación. Las tareas repetitivas pueden encontrarse, por ejemplo, en las industrias de procesamiento de alimentos y de la madera.

Es importante destacar que la manipulación manual de materiales y el trabajo repetitivo son básicamente trabajos musculares dinámicos o estáticos, o una combinación de ambos.

### 2.1.2 Fisiología del trabajo muscular

#### 2.1.2.1 Trabajo muscular dinámico

En el trabajo dinámico, los músculos esqueléticos implicados se contraen y relajan rítmicamente. El flujo sanguíneo que llega a los músculos aumenta para satisfacer las necesidades metabólicas.

Este aumento del flujo sanguíneo se logra incrementando el bombeo del corazón (gasto cardíaco), reduciendo el flujo que llega a las áreas inactivas, como los riñones y el hígado, y aumentando el número de vasos sanguíneos abiertos en la musculatura que está interviniendo en el trabajo. La frecuencia cardiaca, la presión sanguínea y el consumo de oxígeno en los músculos, aumentan en relación directa a la intensidad del trabajo. También aumenta la ventilación pulmonar, debido a la mayor profundidad de las respiraciones y al aumento de la frecuencia respiratoria. La finalidad de la activación de todo el sistema cardiorrespiratorio es mejorar la llegada de oxígeno a los músculos implicados. El nivel de consumo de oxígeno, medido durante un trabajo muscular dinámico pesado, indica la intensidad del trabajo. El consumo máximo de oxígeno ($VO_2$max) indica la capacidad máxima de la persona para el trabajo aeróbico.

Los valores de consumo de oxígeno pueden traducirse en gasto energético (1 litro de oxígeno consumido por minuto corresponde a aproximadamente 5 kcal/min o 21 kJ/min). En el caso del trabajo dinámico, cuando la masa muscular activa es pequeña (por ejemplo, en los brazos), la capacidad máxima de trabajo y el consumo máximo de oxígeno son menores que en el trabajo dinámico realizado con músculos de mayor tamaño. A igual producción de trabajo externo, el trabajo dinámico con músculos pequeños provoca mayores respuestas cardiorrespiratorias (por ejemplo, frecuencia cardiaca, presión sanguínea) que el trabajo con músculos grandes (Figura No.1).

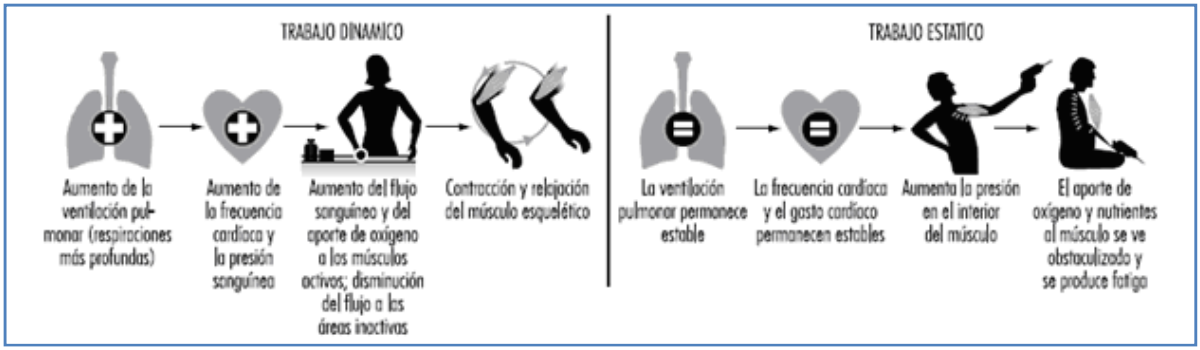


**Figura 1.** Trabajo dinámico frente a trabajo estático

#### 2.1.2.2 Trabajo muscular estático

En el trabajo estático, la contracción muscular no produce movimientos visibles, por ejemplo, en un miembro. El trabajo estático aumenta la presión en el interior del músculo lo que, junto con la compresión mecánica, ocluye la circulación total o parcial de la sangre. El aporte de nutrientes y de oxígeno al músculo y la eliminación de productos metabólicos finales del mismo quedan obstaculizados.

De esta forma, en los trabajos estáticos, los músculos se fatigan con más facilidad que en los trabajos dinámicos. La característica circulatoria más destacada del trabajo estático es el aumento de la presión sanguínea. La frecuencia cardiaca y el gasto cardíaco no varían mucho. Por encima de una determinada intensidad de esfuerzo, la presión de la sangre aumenta en relación directa con la intensidad y la duración del esfuerzo. Además, a igual intensidad relativa del esfuerzo, el trabajo estático realizado con grandes grupos musculares produce una mayor respuesta de la presión sanguínea que el trabajo con músculos más pequeños (Figura No. 1) En principio, la regulación de la ventilación y de la circulación en el trabajo estático es similar a la del trabajo dinámico, pero las señales metabólicas de los músculos son más fuertes y provocan un patrón de respuestas diferente.

### 2.1.3 Consecuencias de la sobrecarga muscular en las actividades laborales

El grado de carga física que experimenta un trabajador en el curso de un trabajo muscular depende del tamaño de la masa muscular que interviene, del tipo de contracciones musculares (estáticas o dinámicas), de la intensidad de las contracciones y de las características individuales.

Mientras la carga de trabajo muscular no supere la capacidad física del trabajador, el cuerpo se adaptará a la carga y se recuperará rápidamente una vez terminado el trabajo. Si la carga muscular es demasiado elevada, se producirá fatiga, se reducirá la capacidad de trabajo y la recuperación será más lenta. Las cargas más elevadas o la sobrecarga prolongada pueden ocasionar daños físicos en forma de enfermedades profesionales o relacionadas con el trabajo. Por otro lado, el trabajo muscular de cierta intensidad, su frecuencia y su duración, también puede tener un efecto de entrenamiento, como, por otra parte, unas exigencias musculares excesivamente bajas pueden tener efectos de desentrenamiento. Estas relaciones se representan mediante el llamado *concepto de estrés-tensión expandido* desarrollado por Rohmert (Figura No. 2).

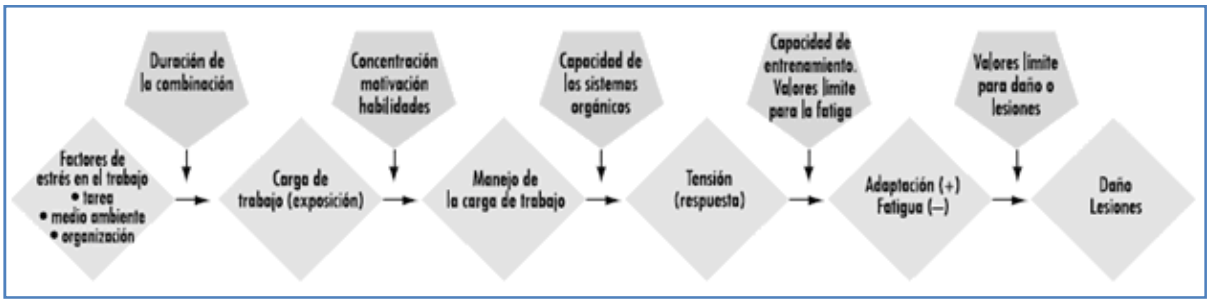


**Figura 2.** Modelo de estrés tensión expandida modificado por Rohmert

En general, hay pocas pruebas epidemiológicas de que la sobrecarga muscular sea un factor de riesgo para las enfermedades. Sin embargo, en trabajos con grandes demandas físicas, sobre todo entre trabajadores de más edad, suelen detectarse problemas de salud, incapacidades y sobrecargas subjetivas de trabajo. Además, muchos factores de riesgo de enfermedades musculoesqueléticas relacionadas con el trabajo están relacionados con distintos aspectos de la carga de trabajo muscular, como la aplicación de fuerzas, las posturas inadecuadas, el levantamiento de pesos y las sobrecargas repentinas. Uno de los objetivos de la ergonomía ha sido determinar límites aceptables para las cargas de trabajo muscular que podrían aplicarse para evitar la fatiga y las enfermedades.

#### 2.1.3.1 Carga de trabajo aceptable en el trabajo muscular dinámico pesado

La valoración de la carga de trabajo aceptable en tareas dinámicas se ha basado tradicionalmente en la medida del consumo de oxígeno (o en el correspondiente gasto energético). El consumo de oxígeno puede medirse en campo con relativa facilidad mediante aparatos portátiles (sacos de Douglas, espirómetro de Max Planck, Oxylog, Cosmed), o puede estimarse a partir de los registros de frecuencia cardiaca, que se obtienen con bastante fiabilidad en el lugar de trabajo.

La utilización de la frecuencia cardiaca en la estimación del consumo de oxígeno exige una calibración individual frente al consumo de oxígeno medido durante un trabajo estándar realizado en el laboratorio, es decir, el investigador debe conocer el consumo de oxígeno de un individuo a una frecuencia cardiaca determinada. Los registros de frecuencia cardiaca deberán manejarse con cuidado, ya que a veces se ven afectados por factores como la forma física, la temperatura ambiente, los factores psicológicos y el tamaño de la masa muscular activa. Así, las medidas de la frecuencia cardiaca pueden conducir a una sobreestimación del consumo de oxígeno, de la misma forma que los valores de consumo de oxígeno pueden dar lugar a una subestimación de la tensión fisiológica global, al reflejar sólo los requerimientos energéticos.

La carga de trabajo relativa se define como la fracción (porcentaje) del consumo de oxígeno del trabajador, medido durante el trabajo, en relación a su $VO_2$max medido en el laboratorio. Si sólo se dispusiera de las medidas de la frecuencia cardiaca (FC), se podría hacer un cálculo aproximado de la carga de trabajo relativa, calculando el porcentaje de frecuencia cardiaca desplazada (% FC desplazada) con la denominada fórmula de Karvonen, como en la Figura 3. El $VO_2$max suele medirse en un ergociclómetro o en una cinta sinfín, cuya eficiencia mecánica es elevada (20-25 %). Cuando la masa muscular activa es pequeña o el componente estático es elevado, el $VO_2$max y la eficacia mecánica serán menores que en el caso de un ejercicio realizado por grupos de músculos grandes. Cuando las recomendaciones se basen en el consumo de oxígeno, el tipo de prueba para calcular el valor máximo debe aproximarse a la tarea real tanto como sea posible. Este objetivo, sin embargo, es difícil de conseguir.

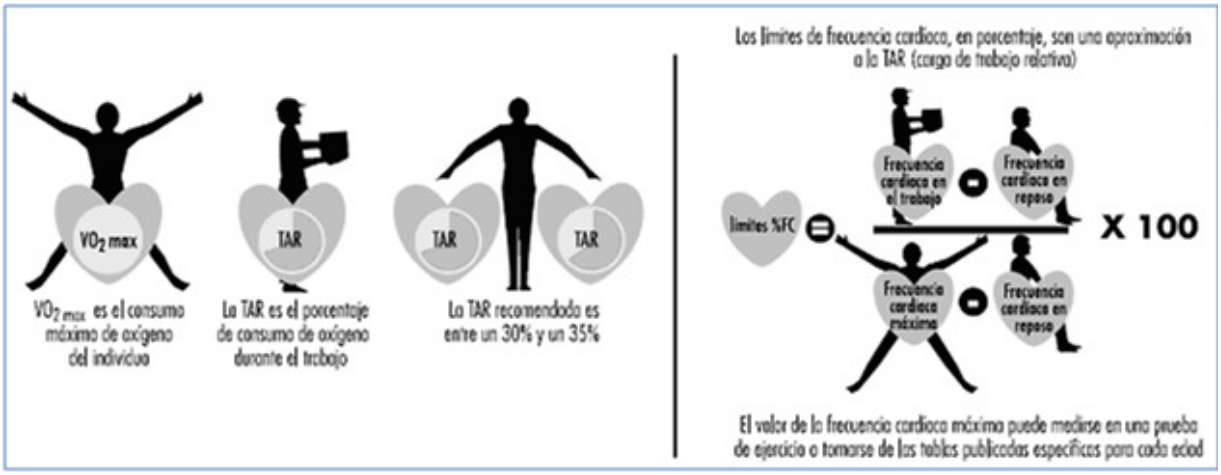


**Figura 3.** Análisis de las cargas de trabajo aceptables.

Originalmente, los niveles aceptables de la carga de trabajo relativa fueron desarrollados para el trabajo muscular dinámico puro, algo que raramente se produce en la vida laboral real.

Puede ocurrir que los niveles aceptables de la carga de trabajo relativa no se superen, por ejemplo, en un trabajo de levantamiento de pesos, pero la carga localizada sobre la espalda puede exceder, con mucho, los niveles aceptables. Sin embargo, a pesar de sus limitaciones, el cálculo de la carga de trabajo relativa se ha utilizado frecuentemente para valorar la carga física en distintos trabajos.

Además de las medidas o estimaciones del consumo de oxígeno, hay otros métodos disponibles en el campo de la fisiología que también son útiles para cuantificar la carga física en el trabajo dinámico pesado. Las técnicas de observación pueden aplicarse para calcular el gasto energético (por ejemplo, con la ayuda de la escala de Edholm). La valoración del esfuerzo percibido (RPE) indica la acumulación subjetiva de la fatiga. Los nuevos equipos portátiles de toma de presión sanguínea permiten realizar un análisis más detallado de las respuestas circulatorias.

#### 2.1.3.2 Carga de trabajo aceptable en la manipulación manual de materiales

La manipulación manual de materiales contempla tareas como levantar, transportar, empujar o tirar de diversas cargas externas. La mayoría de las investigaciones realizadas en este campo se han centrado en los problemas de la zona lumbar, derivados de las tareas de levantamiento de pesos, especialmente desde el punto de vista biomecánico.

Se recomienda un nivel de carga de trabajo relativa del 20-40 % para las labores de levantamiento de pesos, que es cuando la tarea puede compararse con el consumo máximo de oxígeno obtenido en una prueba de ergociclómetro. Las recomendaciones basadas en la frecuencia cardiaca pueden ser absolutas o relativas, en función de la frecuencia cardiaca en reposo. Los valores absolutos para hombres y mujeres son 90 a 110 latidos por minuto durante la manipulación continua de materiales. Estos valores son aproximadamente los mismos que los recomendados para el aumento de la frecuencia cardiaca por encima de los niveles de reposo, es decir de 30 a 35 latidos por minuto. Estas recomendaciones también son aplicables al trabajo muscular dinámico pesado en hombres y mujeres jóvenes y sanos. Sin embargo, como ya se ha dicho antes, los datos relativos a la frecuencia cardiaca deberían tratarse con cuidado, ya que también están condicionados por otros factores distintos del trabajo muscular.

Las recomendaciones para determinar una carga de trabajo aceptable durante la manipulación manual de materiales, basadas en los análisis biomecánicos, abarcan diversos factores como el peso de la carga, la frecuencia de la manipulación, la altura a la que hay que levantar la carga, la distancia de la carga al cuerpo y las características físicas de la persona. En un estudio de campo a gran escala se averiguó que los varones sanos podían manejar paquetes postales con pesos comprendidos entre cuatro y cinco kilos, durante una jornada entera, sin mostrar signos de fatiga, ni objetiva ni subjetiva. La mayoría de los movimientos se realizaban por debajo del nivel del hombro, la frecuencia media era inferior a ocho paquetes por minuto y el número total de paquetes no alcanzaba los 1.500 por turno de trabajo.

La frecuencia cardiaca media de los trabajadores fue de 101 latidos por minuto y su consumo medio de oxígeno de 1,0 l/min, lo que correspondía al 31 % de la carga de trabajo relativa en relación con el máximo alcanzado en la bicicleta.

La observación de las posturas en el trabajo y el empleo de la fuerza, según el método de OWAS, la valoración del esfuerzo percibido y el registro de la presión sanguínea mediante equipos portátiles son también formas adecuadas de valorar el esfuerzo y la tensión en la manipulación manual de materiales. También puede emplearse la electromiografía para valorar las tensiones locales, por ejemplo, en los músculos del brazo y de la espalda.

#### 2.1.3.3 Carga de trabajo aceptable para trabajos musculares estáticos

El trabajo muscular estático se requiere principalmente en el mantenimiento de las posturas de trabajo. La duración de la contracción estática depende exponencialmente de la fuerza relativa de la contracción. Esto significa, por ejemplo, que cuando la contracción estática requiere un 20 % de la fuerza máxima de contracción, la duración de la contracción será de cinco a siete minutos, y cuando la fuerza de contracción es del 50 %, el tiempo de duración de la contracción será de aproximadamente un minuto.

Algunos estudios anteriores indicaban que no se produce fatiga cuando la fuerza de contracción se sitúa por debajo del 15 % de la fuerza máxima de contracción. Sin embargo, estudios más recientes han demostrado que la fuerza de contracción aceptable es específica para un músculo o grupo de músculos determinados y equivale a un 2-5 % de la fuerza estática máxima. Los límites de estas fuerzas son, sin embargo, difíciles de utilizar en situaciones prácticas porque requieren un registro electromiográfico.

El médico dispone de pocos métodos de campo para cuantificar la tensión producida por el trabajo estático. Algunos métodos de observación (como el de OWAS) permiten analizar la proporción de las posturas desfavorables, es decir, posturas que se desvían de las posiciones medias normales de las principales articulaciones. La medida de la presión sanguínea y la valoración del esfuerzo percibido pueden resultar útiles, pero la frecuencia cardiaca no es tan determinante.

#### 2.1.3.4 Carga de trabajo aceptable en el trabajo repetitivo

El trabajo repetitivo realizado con grupos musculares pequeños es similar al trabajo muscular estático, desde el punto de vista de las respuestas circulatorias y metabólicas. Normalmente, en el trabajo repetitivo, los músculos se contraen más de 30 veces por minuto. Cuando la fuerza relativa de la contracción supera el 10 % de la fuerza máxima, la duración de la contracción y la fuerza muscular empiezan a disminuir. Sin embargo, existe una variación individual muy grande en cuanto al

tiempo de duración de la contracción. Por ejemplo, el tiempo de duración varía entre 2 y 50 minutos cuando el músculo se contrae entre 90 y 110 veces/minuto para una fuerza relativa de contracción entre el 10 y el 20 %.

Resulta difícil establecer criterios definitivos para el trabajo repetitivo, porque incluso un nivel de trabajo muy ligero como, por ejemplo, el uso del ratón de un ordenador, puede provocar aumentos de la tensión intramuscular, lo que puede conducir a veces a la hinchazón de las fibras musculares, la aparición de dolor y la disminución de la fuerza muscular. Un trabajo estático y repetitivo de los músculos puede provocar fatiga y reducir la capacidad de trabajo a niveles muy bajos de fuerza relativa. Por lo tanto, la intervención ergonómica deberá tener como objetivo la reducción del número de movimientos repetitivos y de contracciones estáticas tanto como sea posible. Existen muy pocos métodos de estudio de campo para valorar la tensión ocasionada por el trabajo repetitivo. Aunque cabe resaltar que lo más importante no sólo es la posición, sino también que se hagan movimientos intermitentes y de estiramiento para reducir las tensiones musculares que se generen.

### 2.1.4 Prevención de la sobrecarga muscular

Existen relativamente pocas evidencias epidemiológicas que demuestren que la carga muscular es nociva para la salud. Sin embargo, los estudios fisiológicos y ergonómicos sobre el trabajo indican que la sobrecarga muscular se traduce en fatiga (es decir, en una reducción de la capacidad de trabajo) y puede reducir también la productividad y la calidad del trabajo. La prevención de la sobrecarga muscular puede estar dirigida al contenido del trabajo, al entorno laboral o al trabajador. La carga puede ajustarse mediante medios técnicos centrados en el entorno laboral, en las herramientas o en los métodos de trabajo. La forma más rápida de regular la carga muscular de trabajo es aumentar la flexibilidad del horario de trabajo a nivel individual. Esto supone diseñar un régimen de pausas que tenga en cuenta la carga de trabajo y las necesidades y capacidades de cada individuo.

El trabajo muscular estático y repetitivo debería mantenerse al mínimo. Las fases de trabajo dinámico pesado que se producen de forma ocasional pueden resultar útiles para el mantenimiento de una forma física basada en la resistencia. Probablemente, la actividad física más fácil de incorporar a una jornada laboral es andar a paso ligero o subir escaleras.

La prevención de la sobrecarga muscular, sobre todo, es difícil cuando la forma física o las habilidades de los trabajadores son deficientes. Un entrenamiento adecuado mejorará las habilidades laborales del trabajador y puede reducir las cargas musculares durante el trabajo. Además, el ejercicio físico regular, realizado durante el ocio o durante el trabajo, aumentará la fuerza muscular y la capacidad cardiorrespiratoria del trabajador.

## 2.2 Valoración del gasto energético

El hombre transforma, por medio de un proceso biológico, la energía química de los alimentos en energía mecánica, que utiliza para realizar sus actividades, y en calor. Este consumo de energía se expresa generalmente en kilocalorías (Kcal) siendo 1 kilocaloría la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un litro de agua de 14,5ºC a 15,5ºC.

El consumo energético que nos interesa es el debido a la realización del trabajo, es decir el "metabolismo de trabajo". Sin embargo, si queremos calcular o definir la actividad física máxima, es necesario establecer el consumo energético total, que incluye los siguientes factores:

- Metabolismo basal.
- Metabolismo extraprofesional o de ocio.
- Metabolismo de trabajo.

El metabolismo basal, que depende de la talla, el peso y el sexo, y es proporcional a la superficie corporal, es el consumo mínimo de energía necesario para mantener en funcionamiento los órganos del cuerpo, independientemente de que se trabaje o no. Experimentalmente se ha calculado que para un hombre de 70 Kg es aproximadamente de 1700 Kcal/día y para una mujer de unos 60 Kg de unas 1400 Kcal/día. Dentro del metabolismo basal se incluye el metabolismo llamado de reposo que se refiere al consumo energético necesario para facilitar la digestión y la termorregulación.

El metabolismo extraprofesional o de ocio es el debido a otras actividades habituales, como puede ser el aseo, vestirse, etc. y que como media se estima un consumo de unas 600 Kcal/día para el hombre y de 500 Kcal/día para la mujer.

El metabolismo de trabajo se calcula teniendo en cuenta dos factores:

- Carga estática (posturas).
- Carga Dinámica.
    - Desplazamiento.
    - Esfuerzos musculares.
    - Manutención de cargas.

Existen varios métodos para determinar el gasto energético, que se basan en la consulta de tablas o en la medida de algún parámetro fisiológico. En la tabla 1 se indican los que recoge la ISO 8996, clasificados en niveles según su precisión y dificultad.

| NIVEL | MÉTODO | PRECISIÓN | ESTUDIO DEL PUESTO DE TRABAJO |
|---|---|---|---|
| I | A. Clasificación en función del tipo de actividad | Informaciones imprecisas con riesgo de errores muy importantes | No necesario |
| | B. Clasificación en función de las profesiones | | Información sobre el equipamiento técnico y la organización |
| II | A. Estimación del metabolismo a partir de los componentes de la actividad.<br>B. Utilización de tablas de estimación por actividad tipo<br>C. Utilización de la frecuencia cardiaca en condiciones determinadas | Riesgo elevado de errores<br>Precisión: ± 15% | Estudio necesario de los tiempos |
| | | | No necesario |
| III | Medida | Riesgo de errores en los límites de precisión de la medida y del estudio de los tiempos.<br>Precisión: ±5% | Estudio necesario de los tiempos |

**Tabla 1.** Métodos para determinar el gasto energético. ISO 8996

### 2.2.1 Estimación del consumo metabólico a través de tablas

La estimación del consumo metabólico a través de tablas implica aceptar unos valores estandarizados para distintos tipos de actividad, esfuerzo, movimiento, etc. y suponer, tanto que la población a la cual se aplicara el estudio se ajusta a la que sirvió de base para la elaboración de las tablas, como que las acciones generadoras de un gasto energético son, en el caso en el que se este aplicando, las mismas que las expresadas en las tablas. Estos dos factores constituyen las desviaciones más importantes respecto de la realidad y motivan que los métodos de estimación del consumo metabólico mediante tablas ofrezcan menor precisión que los basados en mediciones de parámetros fisiológicos. A cambio son mucho más fáciles de aplicar y en general son más utilizados.

### 2.2.2 Consumo metabólico según el tipo de actividad

Mediante este sistema se puede clasificar de forma rápida el consumo metabólico en reposo, ligero, moderado, pesado o muy pesado, en función del tipo de actividad desarrollada. El término numérico que se obtiene representa sólo el valor medio, dentro de un intervalo posible demasiado amplio. Desde un punto de vista cuantitativo el método permite establecer con cierta rapidez cual es el nivel aproximado de metabolismo. Por su simplicidad es un método bastante utilizado. En la tabla 2 se representa la mencionada clasificación por tipos de actividad.

| CLASE | W/m² |
|---|---|
| Reposo | 65 |
| Metabolismo ligero | 100 |
| Metabolismo moderado | 165 |
| Metabolismo elevado | 230 |
| Metabolismo muy elevado | 290 |

**Tabla 2.** Clasificación del metabolismo por tipo de actividad

#### 2.2.2.1 Metabolismo ligero (ejemplos)

Sentado con comodidad: trabajo manual ligero (escritura, picar a máquina, dibujo, costura, contabilidad); trabajo con manos y brazos (pequeños útiles de mesa, inspección, ensamblaje o clasificación de materiales ligeros); trabajo de brazos y piernas (conducir un vehículo en condiciones normales, maniobrar un interruptor con el pie o con un pedal).

De pie: taladradora (piezas pequeñas); fresadora (piezas pequeñas); bobinado, enrollado de pequeños revestimientos, mecanizado con útiles de baja potencia; marcha ocasional (velocidad hasta 3,5 km/h).

#### 2.2.2.2 Metabolismo moderado (ejemplos)

Trabajo mantenido de manos y brazos; trabajo con brazos y piernas (maniobras sobre camiones, tractores o máquinas); trabajo de brazos y tronco (trabajo con martillo neumático, acoplamiento de vehículos, enyesado, manipulación intermitente de materiales moderadamente pesados, recolección de frutos o de legumbres); empuje o tracción de carreteras ligeras o de carretillas; marcha a una velocidad de 3,5 a 5,5 km/hora; forjado.

#### 2.2.2.3 Metabolismo elevado (ejemplos)

Trabajo intenso con brazos y tronco; transporte de materiales pesados; trabajos de cavar; trabajo con martillo; serrado; laminación acabadora o cincelado de madera dura; segar a mano; excavar; marcha a una velocidad de 5,5 a 7 km/hora. Empuje o tracción de carreteras o de carretillas muy cargadas, levantar las virutas de piezas moldeadas, colocación de bloques de hormigón.

#### 2.2.2.4 Metabolismo muy elevado (ejemplos)

Actividad muy intensa a marcha rápida cercana al máximo; trabajar con el hacha; acción de palear o de cavar intensamente; subir escaleras, una rampa o una escalera; andar rápidamente con pasos pequeños, correr, andar a una velocidad superior a 7 km/h.

### 2.2.3 Consumo metabólico según la profesión

Se obtiene el consumo metabólico a través de tablas (Tabla 3) que lo relacionan con diferentes profesiones. Hay que tener en cuenta que en los valores que figuran en dicha tabla se incluye el metabolismo basal. El progreso tecnológico hace que la actividad física que conllevan las distintas profesiones varíe sustancialmente con el tiempo, por lo que este método puede ser muy impreciso.

| Profesión | Metabolismo W/m² | Profesión | Metabolismo W/m² | Profesión | Metabolismo W/m² |
|---|---|---|---|---|---|
| **ARTESANOS** | | **INDUSTRIA SIDERÚRGICA** | | **IMPRENTA** | |
| Albañil | 110 a 160 | Obrero de altos hornos | 170 a 220 | Compositor manual | 70 a 95 |
| Carpintero | 110 a 175 | Obrero de horno eléctrico | 125 a 145 | Encuadernador | 75 a 100 |
| Vidriero | 90 a 125 | Moldeador a mano | 140 a 240 | **AGRICULTURA** | |
| Pintor | 100 a 130 | Moldeador a máquina | 105 a 165 | Jardinero | 115 a 190 |
| Panadero | 110 a 140 | Fundidor | 140 a 240 | Conductor de tractor | 85 a 110 |
| Carnicero | 105 a 140 | **FERRETERÍA Y CERRAJERÍA** | | **CIRCULACIÓN** | |
| Relojero | 55 a 70 | Herrero forjador | 90 a 200 | Conductor de coche | 70 a 90 |
| **INDUSTRIA MINERA** | | Soldador | 75 a 125 | Conductor de autocar | 75 a 125 |
| Empujador de vagonetas | 70 a 85 | Tornero | 75 a 125 | Conductor de tranvía | 80 a 115 |
| Picador de hulla (estratificación base) | 140 a 240 | Fresador | 80 a 140 | Conductor de trolebús | 80 a 125 |
| Obrero de horno de coque | 115 a 175 | Mecánico de precisión | 70 a 110 | Conductor de grúa | 65 a 145 |
| | | | | **PROFESIONES DIVERSAS** | |
| | | | | Laborante | 85 a 100 |
| | | | | Profesor | 85 a 100 |
| | | | | Vendedora | 100 a 120 |
| | | | | Secretaria | 70 a 85 |

**Tabla 3.** Clasificación del metabolismo según la profesión

### 2.2.4 Consumo metabólico en tareas concretas

Este método ofrece mayor precisión que los anteriores, ya que limita la extensión de la actividad a la que asigna el gasto metabólico, utilizando tablas que otorgan valores de gasto energético a tareas que suelen formar parte del trabajo habitual. La tabla 4 muestra valores de gasto energético para algunas tareas concretas, incluyendo en esos valores el metabolismo basal.

| Actividad | Metabolismo W/m² |
|---|---|
| **ACTIVIDADES DE BASE** | |
| **• Andar en llano** | |
| 2 km/h | 110 |
| 3 km/h | 140 |
| 4 km/h | 165 |
| 5 km/h | 200 |
| **• Andar en subida, 3 km/h** | |
| inclinación de 5° | 195 |
| inclinación de 10° | 275 |
| inclinación de 15° | 390 |
| **• Andar en bajada 5,5 km/h** | |
| inclinación de 5° | 130 |
| inclinación de 10° | 115 |
| inclinación de 15° | 120 |
| **• Subir una escalera (0,172m/peldaño)** | |
| 80 peldaños/minuto | 440 |
| **• Bajar una escalera (0,172 m/peldaño)** | |
| 80 peldaños /minuto | 155 |
| **• Transportar una carga en llano, 4 km/h** | |
| masa 10 kg | 185 |
| masa 30 kg | 250 |
| masa 50 kg | 360 |
| **PROFESIONES** | |
| **• Industria de la construcción** | |
| PONER LADRILLOS (CONSTRUCCIÓN DE UN MURO DE SUPERFICIE PLANA) | |
| ladrillo macizo (masa 3,8 kg) | 150 |
| ladrillo hueco (masa 4,2 kg) | 140 |
| ladrillo hueco (masa 15,3 kg) | 125 |
| ladrillo hueco (masa 23,4 kg) | 135 |
| PREFABRICACIÓN DE ELEMENTOS ACABADOS EN HORMIGÓN | |
| encofrado y desencofrado (revestimiento de hormigón pretensado) | 180 |
| colocación de armazones de acero | 130 |
| vertido del hormigón (revestimiento de hormigón pretensado) | 180 |
| CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS | |
| preparación del mortero de cemento | 155 |
| vertido de hormigón para cimientos | 275 |
| compactaje de hormigón por vibraciones | 220 |
| encofrado | 180 |
| carga de carretilla con piedras arena y mortero | 275 |
| **• Industria siderúrgica** | |
| ALTOS HORNOS | |
| preparación del canal de colada | 340 |
| perforación | 430 |
| MOLDEADO (MOLDEADO A MANO) | |
| moldeado de piezas medianas | 285 |
| vaciado con martillo metálico | 175 |
| moldeado de piezas pequeñas | 140 |
| MOLDEADO A MÁQUINA | |
| desmoldeado | 125 |
| moldeado, colada mediante un operario | 220 |

**Tabla 4.** Clasificación del metabolismo por actividad-tipo

| Actividad | Metabolismo W/m² |
|---|---|
| moldeado, colada mediante dos operarios | 210 |
| moldeado a partir de una colada suspendida | 190 |
| TALLER DE ACABADO | |
| trabajo con martillo neumático | 175 |
| amolado, troquelado | 175 |
| • **Industria forestal** | |
| TRASPORTE Y TRABAJO CON HACHA | |
| andar por el bosque (4 km/h) y transporte (masa 7 kg) | 285 |
| transporte a mano (4 km/h) de una tronzadora (18 kg) | 385 |
| trabajo con hacha (masa 2 kg, 33 golpes/minuto) | 500 |
| cortar raices con hacha | 375 |
| poda (abeto) | 415 |
| ASERRADO | |
| corte transversal, tronzado mediante 2 operarios | |
| 60 doble golpes por minuto, 20 cm² por doble golpe | 415 |
| 40 doble golpes por minuto, 20 cm² por doble golpe | 240 |
| tala por tronzado | |
| tronzado por un operario | 235 |
| tronzado por dos operarios | 205 |
| corte transversal | |
| tronzado por un operario | 205 |
| tronzado por dos operarios | 190 |
| descortezado | |
| valor medio en verano | 225 |
| valor medio en invierno | 390 |
| • **Agricultura** | |
| cavado | 380 |
| labranza con tiro de caballos | 235 |
| labranza con tractor | 170 |
| sembrado con tractor | 95 |
| bina (masa de la azadilla 1,25 kg) | 170 |
| **DEPORTES** | |
| • **Carrera** | |
| 9 km/h | 435 |
| 12 km/h | 485 |
| 15 km/h | 550 |
| • **Esquí, en terreno llano y con buena nieve** | |
| 7 km/h | 350 |
| 9 km/h | 405 |
| 12 km/h | 510 |
| • **Patinaje** | |
| 12 km/h | 225 |
| 15 km/h | 285 |
| 18 km/h | 360 |
| **TRABAJOS DOMÉSTICOS** | |
| hacer la limpieza | 100 a 200 |
| cocinar | 80 a 135 |
| fregar platos, de pie | 145 |
| lavar a mano y planchar | 120 a 220 |
| afeitarse, lavarse y vestirse | 100 |

**Tabla 4.** Clasificación del metabolismo por actividad-tipo (continuación)

### 2.2.5 Consumo metabólico a partir de los componentes de la actividad

Mediante este tipo de tablas se dispone, por separado, de información sobre posturas, desplazamientos, etc., de forma que la suma del gasto energético que suponen esos componentes, que en conjunto integran la actividad, es el consumo metabólico de esa actividad. Es posiblemente el sistema más utilizado para determinar el consumo metabólico.

Los términos a sumar son los siguientes:

- **Metabolismo basal.** Es el consumo de energía de una persona acostada y en reposo. Representa el gasto energético necesario para mantener las funciones vegetativas (respiración, circulación, etc.). La tabla 5 muestra su valor en función del sexo y la edad. Puede tomarse como una buena aproximación, 44 w/ $m^2$ para los hombres y 41 w/$m^2$ para mujeres (corresponden aproximadamente al metabolismo basal de un hombre de 1,7 metros de altura 70 Kg de peso y 35 años de edad, y de una mujer de 1,6 metros de altura, 60 Kg de peso, y 35 años).

| VARONES | | MUJERES | |
|---|---|---|---|
| Años de edad | Watios/m² | Años de edad | Watios/m² |
| 6 | 61,480 | 6 | 58,719 |
| 7 | 60,842 | 6,5 | 58,267 |
| 8 | 60,065 | 7 | 56,979 |
| 8,5 | 59,392 | 7,5 | 55,494 |
| 9 | 58,626 | 8 | 54,520 |
| 9,5 | 57,327 | 8,5 | 53,940 |
| 10 | 56,260 | 9-10 | 53,244 |
| 10,5 | 55,344 | 11 | 52,502 |
| 11 | 54,729 | 11,5 | 51,968 |
| 12 | 54,230 | 12 | 51,365 |
| 13-15 | 53,766 | 12,5 | 50,553 |
| 16 | 53,035 | 13 | 49,764 |
| 16,5 | 52,548 | 13,5 | 48,836 |
| 17 | 51,968 | 14 | 48,082 |
| 17,5 | 51,075 | 14,5 | 47,258 |
| 18 | 50,170 | 15 | 46,516 |
| 18,5 | 49,532 | 15,5 | 45,704 |
| 19 | 49,091 | 16 | 45,066 |
| 19,5 | 48,720 | 16,5 | 44,428 |
| 20-21 | 48,059 | 17 | 43,871 |
| 22-23 | 47,351 | 17,5 | 43,384 |
| 24-27 | 46,678 | 18-19 | 42,618 |
| 28-29 | 46,180 | 20-24 | 41,969 |
| 30-34 | 45,634 | 25-44 | 41,412 |
| 35-39 | 44,869 | 45-49 | 40,530 |
| 40-44 | 44,080 | 50-54 | 39,394 |
| 45-49 | 43,349 | 55-59 | 38,489 |
| 50-54 | 42,607 | 60-64 | 37,828 |
| 55-59 | 41,876 | 65-69 | 37,468 |
| 60-64 | 41,157 | | |
| 65-69 | 40,368 | | |

**Tabla 5.** Metabolismo basal en función de la edad y sexo

- **Componente postural.** Es el consumo de energía que tiene una persona en función de la postura que mantiene (de pie, sentado, etc.). La tabla 6 muestra los valores correspondientes.

| Posición del cuerpo | Metabolismo (W/m²) |
|---|---|
| Sentado | 10 |
| Arrodillado | 20 |
| Agachado | 20 |
| De pie | 25 |
| De pie inclinado | 30 |

**Tabla 6.** Metabolismo para la postura corporal. Valores excluyendo el metabolismo basal

- **Componente del tipo de trabajo.** Es el gasto energético que se produce en función del tipo de trabajo (manual, con un brazo, con el tronco, etc.) y de la intensidad de éste (ligero, moderado, pesado, etc.) (Ver tabla 7).

| Tipo de trabajo | Metabolismo (W/m²) | |
|---|---|---|
| | Valor medio | Intervalo |
| Trabajo con las manos | | |
| ligero | 15 | < 20 |
| medio | 30 | 20 - 35 |
| intenso | 40 | > 35 |
| Trabajo con un brazo | | |
| ligero | 35 | < 45 |
| medio | 55 | 45 - 65 |
| intenso | 75 | > 65 |
| Trabajo con 2 brazos | | |
| ligero | 65 | < 75 |
| medio | 85 | 75 - 95 |
| intenso | 105 | > 95 |
| Trabajo con el tronco | | |
| ligero | 125 | < 155 |
| medio | 190 | 155 - 230 |
| intenso | 280 | 230 - 330 |
| muy intenso | 390 | > 330 |

**Tabla 7.** Metabolismo para distintos tipos de actividades. Valores excluyendo el metabolismo basal

- **Componente de desplazamiento.** Se refiere al consumo de energía que supone el hecho de desplazarse, horizontal o verticalmente a una determinada velocidad. El uso de la tabla 8, donde figuran estos datos, implica multiplicar el valor del consumo metabólico, por la velocidad de desplazamiento para obtener el gasto energético correspondiente al desplazamiento estudiado.

| Tipo de trabajo | Metabolismo (W/m²) |
|---|---|
| Velocidad de desplazamiento en función de la distancia | |
| Andar 2 a 5 km/h | 110 |
| Andar en subida, 2 a 5 km/h | |
| Inclinación 5° | 210 |
| Inclinación 10° | 360 |
| Andar en bajada, 5 km/h | |
| Declinación 5° | 60 |
| Declinación 10° | 50 |
| Andar con una carga en la espalda, 4 km/h | |
| Carga de 10 kg | 125 |
| Carga de 30 kg | 185 |
| Carga de 50 kg | 285 |
| Velocidad de desplazamiento en función de la altura | |
| Subir una escalera | 1725 |
| Bajar una escalera | 480 |
| Subir una escalera de mano inclinada | |
| sin carga | 1660 |
| con carga de 10 kg. | 1870 |
| con carga de 50 kg. | 3320 |
| Subir una escalera de mano vertical | |
| sin carga | 2030 |
| con carga de 10 kg. | 2335 |
| con carga de 50 kg. | 4750 |

**Tabla 8.** Metabolismo del desplazamiento en función de la velocidad del mismo. Valores excluyendo el metabolismo basal

#### 2.2.5.1 Variación del gasto energético con el tiempo

Cuando las condiciones del trabajo varían durante la jornada laboral, las tablas no son de aplicación directa (excepto la tabla 3) y los valores de consumo energético deben ponderarse en el tiempo.

Esto exige el cronometraje del puesto de trabajo, de forma que se conozca la duración de cada tarea, actividad, etc. Cuando estos datos son conocidos, el consumo metabólico medio de una serie de trabajos consecutivos viene dado por la expresión:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^{n} M_i \cdot t_i}{T} \qquad (I)$$

$$\text{siendo} \quad T = \sum_{i=1}^{n} t_i$$

M = consumo metabólico medio durante el periodo de tiempo T
$M_i$ = consumo metabólico durante el periodo de tiempo $t_i$

Cuando ninguno de los valores de $M_i$ incluye el metabolismo basal, es decir que están extraídos de las tablas 6, 7 u 8, hay que añadir ese valor al obtenido en **(I)**.

Si en el cálculo mediante esa ecuación **(I)** se utilizan valores de $M_i$ que incluyen el metabolismo basal junto a otros que no lo hacen (por ejemplo usando datos de la tabla 4 con otros de las tablas 6, 7 u 8) deben homogeneizarse los términos, añadiendo a cada $M_i$ el valor del metabolismo basal cuando no esté incluido.

Esta forma de ponderar en el tiempo es útil cuando el trabajo habitual del individuo es la repetición consecutiva de un conjunto de tareas (ciclo de trabajo). En este caso, para determinar el consumo metabólico medio de esa persona (durante su jornada laboral) basta con utilizar la expresión **(I)** aplicada a un ciclo de trabajo.

### 2.2.6 Determinación del consumo metabólico mediante medición de parámetros fisiológicos

Los dos métodos de valoración de la carga física mediante la medición de parámetros fisiológicos son el basado en el consumo de oxígeno y el de la frecuencia cardiaca.

a. La medición directa del metabolismo se basa en el consumo de oxígeno ya que existe una relación casi lineal entre dicho consumo y el nivel de metabolismo. El consumo de 1 litro de oxígeno corresponde a 4,85 kcal = 20,2 kilojoules. A pesar de su gran precisión, este método suele utilizarse poco, ya que constituye una prueba de laboratorio.
b. Así mismo se puede hacer una estimación del metabolismo por medición indirecta, mediante la frecuencia cardiaca. Este método se basa en el aumento de la irrigación sanguínea que exige un trabajo físico. Es especialmente indicado en aquellos casos en que el trabajo es (principalmente) de componente estático, o en aquellos en que se utiliza un pequeño número de músculos. Los datos personales a tener en cuenta son: sexo, edad, talla, peso, hábitos tóxicos, patología actual, actividad deportiva e ingesta de fármacos. En cuanto a factores ambientales se tendrá en cuenta la temperatura y la humedad. Se puede clasificar la penosidad de un puesto de trabajo a partir de la medición individualizada de la frecuencia cardiaca y comparándola posteriormente con unos valores de referencia.

#### 2.2.6.1 Estimación del gasto metabólico mediante la frecuencia cardiaca

Muchos autores describen una relación lineal estricta entre este parámetro y el gasto energético. Su principal desventaja es la existencia de una mayor dispersión entre la potencia desarrollada y la frecuencia cardiaca observada entre un sujeto y otro. A su favor, la facilidad de control y las pocas molestias que supone para el explorado, así como su estabilidad intraindividual.

Las ventajas de la frecuencia cardiaca frente al consumo de oxígeno en la valoración "in situ" de la carga física se debe principalmente a:

- La aceptación del método por parte del trabajador: el medidor de consumo de oxígeno requiere de la utilización de una mascarilla y de una conexión engorrosa con el medidor, lo que lo hace poco atractivo para el trabajador.
- La no interferencia con las tareas habituales: cuando un sujeto está unido a un aparato registrador sus movimientos pueden verse modificados por el mero hecho de llevarlo: cambios en los hábitos de trabajo, mayor esfuerzo por el peso del aparato y por el uso de la mascarilla, posturas inadecuadas. Cuestiones estas que son mucho más flagrantes con el medidor de consumo de oxígeno.
- La validez aceptable del test escogido en relación a su reproducibilidad, especificidad y sensibilidad.

La frecuencia cardiaca es un método que permite estudiar las reacciones derivadas:

- Las condiciones de trabajo:
    - Carga física de trabajo tanto dinámica como estática.
    - Carga térmica de trabajo.
    - Carga emocional de trabajo: reacciones a los ruidos, al estrés...
- Las propias del individuo:
    - Digestión.
    - Estado emocional particular.
    - Ritmo biológico propio.
    - Estado de salud: integridad cardiaca, condición física, etc.

#### 2.2.6.2 Valores e índices derivados del estudio de la frecuencia cardiaca (FC)

El análisis de la frecuencia cardiaca permite estudiar la carga física desde dos puntos de vista bien diferenciados, aunque complementarios:

**Cualitativo**

El estudio del perfil de la frecuencia cardiaca a lo largo del día, durante las horas de trabajo, nos permite detectar aquellas operaciones en las que la demanda cardiaca es intensa; e incluso compararlas según sea el turno de trabajo (mañana, tarde, noche).

**Cuantitativo**

Los valores que se pueden obtener a partir de la monitorización de la frecuencia cardiaca son:

**FC de reposo (FCB)**

Este valor es el de mayor importancia en este estudio, de él dependen la mayoría de los índices sobre los que basamos la valoración de la carga física.

Varias han sido las propuestas realizadas y ninguna de ellas es totalmente satisfactoria:

- Frecuencia cardiaca intrínseca:
  FCI = 118,1 - 0,57 * edad (años)
  ±14% en menores de 45 años
  ±18% en sujetos de 45 años o más.
- Frecuencia teórica de reposo: Considerar para el hombre una frecuencia de reposo de 60 latidos por minuto y para la mujer de 70.
- Frecuencia cardiaca durante 5-10 minutos en posición sentado, de pie o estirado, antes de la jornada laboral.

- Valor alrededor del cual se estabiliza la frecuencia cardiaca durante al menos tres minutos durante un periodo de reposo, en posición sentada.
  - Frecuencia cardiaca determinada a partir de métodos estadísticos utilizando los percentiles: Percentil 1 ó 5 del periodo monitorizado de trabajo; percentil 5 ó 10 de los valores de 24 horas; percentil 50 de un registro de seis horas de reposo nocturno.

Ante la dificultad de muchas de estas medidas, y para un trabajo puramente de campo, en empresa, las frecuencias cardiacas más útiles serían:

- FCB1 = Percentil 1 del periodo de trabajo monitorizado.
- FCB2 = Moda de un periodo de reposo de 10 minutos sentado, antes de iniciar el trabajo.

**FC media de trabajo (FCM)**

Es la frecuencia media de trabajo para las horas de registro; se tomará la media de todos los valores obtenidos durante el periodo determinado. El rango de dicha variable estará comprendido entre el percentil 5 ($FCM_{min}$) y el percentil 95 ($FCM_{máx}$).

**Costo Cardiaco absoluto:**

$$CCA = FCM - FCB$$

Nos permite estudiar la tolerancia individual de un trabajador frente a una tarea determinada. Dan sólo una idea aproximada de la carga física de un puesto de trabajo.

**Costo Cardiaco relativo:**

$$CCR = CCA / (FCM_{máx.t} - FCB)$$

Este índice nos da una idea de la adaptación del sujeto a su puesto de trabajo. Se utiliza como frecuencia máxima teórica el valor $FCM_{máx.t}$ = (220-edad), con lo que se asume un error de un 5% con respecto a la real que se determinaría mediante una prueba de esfuerzo.

**Aceleración de la FC:**

$$\Delta FC = FCM_{máx.t} - FCM$$

A partir de todos estos valores, podemos categorizar el puesto de trabajo estudiado según la carga física que representa.

### 2.2.6.3 Análisis de resultados

Se utilizan los criterios de CHAMOUX (tabla 9) para la valoración global del puesto y para duraciones de jornada laboral de ocho horas consecutivas y los criterios de FRIMAT (tabla 10) para fases cortas del ciclo de trabajo.

| A PARTIR DEL CCA<br>Coste absoluto del puesto de trabajo | | A PARTIR DEL CCR<br>Coste relativo para la persona | |
|---|---|---|---|
| 0-9 ..... muy ligero | 30-39 ..... pesado | 0-9 ..... muy ligero | 40-49 ..... algo pesado |
| 10-19 ..... ligero | 40-49 ..... muy pesado | 10-19 ..... ligero | 50-59 ..... pesado |
| 20-29 ..... moderado | | 20-29 ..... muy moderado | 60-69 ..... intenso |
| | | 30-39 ..... moderado | |

**Tabla 9.** Criterios de CHAMOUX. Permiten clasificar directamente la penosidad del trabajo en función del costo cardiaco absoluto y del relativo, según se indica a continuación

| COEFICIENTE DE PENOSIDAD | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 4 | 5 | 6 |
| FCM | 90-94 | 95-99 | 100-104 | 105-109 | >110 |
| ΔFC | 20-24 | 25-29 | 30-34 | 35-39 | >40 |
| FCM Max.t | 110-119 | 120-129 | 130-139 | 140-149 | >150 |
| CCA | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| CCR | 10% | 15% | 20% | 25% | 30% |

*La determinación del puntaje se efectuará mediante la suma de los coeficientes correspondientes a los cinco parámetros medidos (FCM, ΔFC, FCM Max.t, CCA, CCR)*

Valoración de las puntuaciones:

| | | |
|---|---|---|
| 25 puntos: extremadamente duro | 20 puntos: penoso | 12 puntos: muy ligero |
| 24 puntos: muy duro | 18 puntos: soportable | <=10 puntos: carga física mínima |
| 22 puntos: duro | 14 puntos: ligero | |

**Tabla 10.** Tabla de los coeficientes de penosidad según los criterios de FRIMAT

Como valoración de referencia más sencilla podemos utilizar la siguiente clasificación:

| Demanda cardíaca | FCM | ΔFC |
|---|---|---|
| Importante | > 110 | > 30 |
| Soportable | 100 a 110 | 20 a 30 |
| Aceptable | < 100 | < 20 |

## 2.3 Límites y normas del consumo energético

Estos límites están fijados para un hombre adulto medio y sano debiendo ser modificados según una serie de factores como: edad, sexo, constitución física, grado de entrenamiento, etc., que no hay que olvidar a la hora de efectuar la valoración.

Asimismo habrá que considerar, dónde y cómo se realiza la tarea: las condiciones termohigrométricas, el tipo de vestido, las exigencias mentales, etc.

Respecto a los límites, en relación al consumo de energía, se admite que para una actividad física profesional, repetida durante varios años, el metabolismo de trabajo no debería pasar de 2000-2500 Kcal/día, cuando se sobrepasa este valor el trabajo se considera pesado.

| NIVEL DE ACTIVIDAD | METABOLISMO DE TRABAJO Kcal/jornada |
|---|---|
| Trabajo ligero | < 1600 |
| Trabajo medio | 1600-2000 |
| Trabajo pesado | > 2000 |

## 2.4 Tiempos de reposo

Cuando, una vez optimizados los métodos y medios de trabajo, el metabolismo de trabajo aún sobrepasa los límites admisibles, es necesario prever tiempos de reposo para permitir la recuperación del organismo; puesto que reduciendo el tiempo total de trabajo se reduce el consumo energético.

Teniendo en cuenta los valores límites antes apuntados, Lehman y Spitzer han propuesto la fórmula siguiente para calcular el tiempo de reposo en función del consumo energético:

$$D = \left(\frac{M}{4} - 1\right) \times 100$$

D = Duración del reposo en % de la duración del trabajo
M = Kcal/minuto consumidas en la realización del trabajo

Si consideramos, por ejemplo un trabajo que exige un consumo de 6 Kcal/minuto, el tiempo de reposo necesario sería:

$$D = (\frac{6}{4} - 1) \times 100 = 50\%$$

Este 50% nos indica que la duración del reposo debe ser la mitad de lo que dura el trabajo efectivo.

Así, después de una hora de trabajo efectivo, se debería descansar:

$$D = (\frac{50\% \times 60}{100}) = 30 \text{minutos}$$

Si se quiere saber, dentro de cada hora cuál sería el tiempo de reposo:

$$D = (\frac{30 \times 60}{90}) = 20 \text{minutos}$$

El cálculo de los tiempos de reposo por esta fórmula da valores normalmente elevados, aunque pueden ser correctos si la valoración del consumo energético es exacta.

No obstante, tan importante como el cálculo del tiempo de reposo, es determinar cuando se debe descansar, es decir cómo distribuir el tiempo de reposo.

## 3 FUNCIONAMIENTO Y PUESTA A PUNTO DE LOS INSTRUMENTOS

**BANDA** Es un elemento que se usa para hacer deporte, específicamente correr o trotar y en este caso la utilizamos para realizar las mediciones necesarias del gasto energético.

**Figura 4.** Banda

**PULSÍMETRO**
Es un elemento de medición del pulso cardiaco. Determina el ritmo de una pulsación.

**Figura 5.** Pulsímetro

**CRONOMETRO**
Es un elemento que sirve para medir el tiempo con gran precisión, pueden ser digitales o análogos.

**Figura 6.** Pulsímetro

# 4 PASOS PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA

1. Se seleccionan 4 personas del grupo, asegurándose que tengan características diferentes en cuanto a edad, peso, sexo, condición física.

2. Cada una de ellas desarrollará el trabajo en la banda durante quince minutos divididos en tres etapas:
    a. Caminar en terreno llano, 5 minutos.
    b. Caminar con una pendiente de 5°, 5 minutos.
    c. Caminar con una pendiente de 10°, 5 minutos.

3. El monitor fijará la velocidad de la banda entre 3 y 5 km/h al iniciar la prueba y esta permanecerá constante durante toda la prueba y para todos los participantes.

4. A cada participante, antes de iniciar la prueba, se le tomará la frecuencia cardiaca en reposo luego de permanecer sentado, en reposo, durante mínimo 3 minutos. Igualmente se registrará su peso, su estatura, edad y sexo.

5. Inmediatamente después de registrar el valor de la FC en reposo el participante comenzará la prueba, en las etapas descritas con anterioridad, se tomará su FC a intervalos de 1 minuto y este valor se registrará en el Formato 1.

6. Complete la información del formato a partir de la información recolectada.

***FORMATO 1. REGISTRO DE FRECUENCIA CARDIACA***

*Velocidad de la Banda (Km/h)* _____

| | | PERSONA | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **1** | **2** | **3** | **4** |
| | **PESO (g)** | | | | |
| | **ESTATURA (cm)** | | | | |
| | **EDAD** | | | | |
| | **SEXO** | | | | |
| Frecuencia Cardiaca de Reposo FCB1 (Percentil 1) | | | | | |
| Frecuencia Cardiaca de Reposo FCB2 (al iniciar el estudio) | | | | | |
| Caminar en terreno llano | 1 minuto | | | | |
| | 2 minutos | | | | |
| | 3 minutos | | | | |
| | 4 minutos | | | | |
| | 5 minutos | | | | |
| Caminar en pendiente de 5º | 1 minuto | | | | |
| | 2 minutos | | | | |
| | 3 minutos | | | | |
| | 4 minutos | | | | |
| | 5 minutos | | | | |
| Caminar en pendiente de 10º | 1 minuto | | | | |
| | 2 minutos | | | | |
| | 3 minutos | | | | |
| | 4 minutos | | | | |
| | 5 minutos | | | | |
| Frecuencia Cardiaca Media FCM (promedio de los registros) | | | | | |
| Frecuencia Cardiaca Máxima FCMmax (Percentil 95) | | | | | |
| Frecuencia Cardiaca Mínima FCMmin (Percentil 5) | | | | | |
| Frecuencia Cardiaca Máxima Teórica FCMmax.t | | | | | |
| Costo Cardiaco Absoluto CCA | | | | | |
| Costo Cardiaco RelativoCCR | | | | | |
| Aceleración de la Frecuencia Cardiaca ΔFC | | | | | |

## 5 CONTENIDO DEL INFORME

1. Introducción.
2. Objetivos (Generales y Específicos).
3. Descripción del procedimiento
4. investigación acerca de otros métodos de análisis de gasto metabólico.
5. Resultados.
    a. Formato de Recolección de datos.
    b. Analizar la prueba según la Clasificación del metabolismo por tipo de actividad (Tabla 2).
    c. Analizar la prueba según la Clasificación del metabolismo por actividad-tipo (Tabla 4).
    d. Analizar la prueba a partir de los componentes de la actividad (Tablas 5, 6, 7 y 8).
    e. Analizar la prueba a partir de los componentes de la actividad (Tablas 5, 6, 7 y 8), ponderando el tiempo de cada etapa.
    f. Analizar los resultados según los criterios de Chamoux.
    g. Analizar los resultados según los criterios de Frimat.
    h. Comparar y analizar los resultados de la aplicación de los diferentes métodos de cálculo del gasto metabólico y las características físicas de cada participante.
6. Conclusiones de la práctica.
7. Bibliografía

# 6 BIBLIOGRAFIA


- MONDELO, Pedro et al. **Ergonomía 1: Fundamentos**, 3ª Edición. México: Alfaomega, 2000.
- NIEBEL, Benjamín, FREIVALDS, Andris. **Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo**, 11ª Edición. México: Alfaomega, 2002.