

Evaluación de la Carga Física de Trabajo UNE-EN 28996 Calor metabólico

INDICE:

Introducción

I. Fisiología

II. Conceptos: Metabolismo Máximo y de trabajo.

II. Evaluación del calor metabólico

1.- Tablas de estimación

a.- Por tipo de actividad

b.- Profesiones

c.- Según actividades concretas

d.- Actividades tipo

2.- Medición directa del consumo de oxígeno

3.- Frecuencia cardíaca

a.- Introducción

b.- Análisis gráfico

c.- Metabolismo equivalente

d.- Descomposición FC

INTRODUCCION

En el presente tema se tratan someramente las línea fundamentales de la fisiología del esfuerzo físico, para posteriormente centrarse en el estudio del metabolismo de trabajo, calor metabólico, la frecuencia cardíaca y finalmente el efecto del entrenamiento sobre el cuerpo humano.

El conocimiento del metabolismo de trabajo es una de las formas de estudiar la carga física en el trabajo. Su estudio se sistematiza en la norma Internacional ISO 8996(1990) que se titula evaluación del calor metabólico. Publicada en diciembre de 1990, es norma europea EN 28996 desde 1993 y UNE-EN 28996 desde 1995.

I. FISILOGIA

El simple hecho de estar de pie supone un trabajo muscular, es decir la contracción de algunos músculos. Dicha contracción, ordenada por el sistema nervioso, necesita energía conseguida a través del desdoblamiento de moléculas muy energéticas. En este proceso se producen moléculas cada vez menos energéticas. Lo que supone una liberación de energía química, posteriormente transformada en energía mecánica por el músculo.

Es decir el músculo es un autentico motor de combustión que utiliza como carburante principal: los hidratos de carbono y los lípidos.

1. Fuentes de energía

El músculo tiene dos fuentes de energía: internas y externas

Internas: -Fosfatos, directamente utilizables

- Glucógeno muscular

Externas:- Glucógeno hepático

- Reservas grasas diseminadas en el cuerpo.

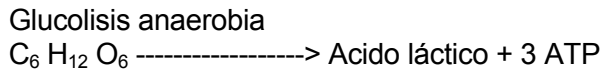
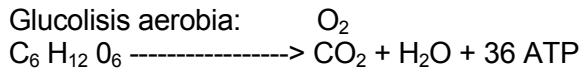
Los fosfatos directamente utilizables son moléculas de ATP, que son la llamada moneda energética del cuerpo humano y que el cuerpo la utiliza directamente.

La glucosa se "quema" produciendo esta molécula directamente utilizable ATP. El glucógeno no es más que una agrupación de glucosa o lo que es lo mismo una forma de almacén.

Los lípidos y proteínas precisan de su transformación previa en glucosa para la obtención de energía.

Es decir la glucolisis (ruptura de la glucosa) es el proceso sobre el cual gira el consumo de energía, es decir el combustible.

La glucosa se quema, en la glucólisis, con o sin oxígeno. De manera general podemos dividir las reacciones en dos grupos según utilicen o no el oxígeno (aeróbicas y anaeróbicas). Las cuales son resumidas de la manera siguiente:



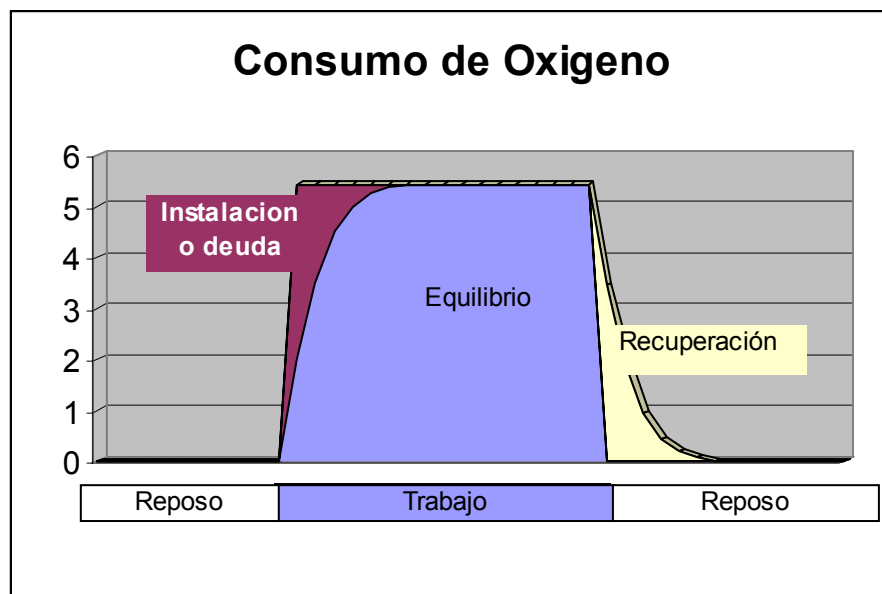
La glucosa es una molécula rica en energía, así las **reacciones aerobias** llegan a compuestos escasamente energéticos (CO₂ y agua) lo que libera gran cantidad de energía, transformada en 37 ATP.

La **Glucólisis anaerobia** acaba en un compuesto, el ácido láctico, todavía importante enérgicamente hablando, lo que produce solamente 3 ATP. Es decir en presencia de oxígeno hay una combustión completa, mientras que en su ausencia dicha combustión es incompleta.

En el gráfico se observa que mientras el esfuerzo comienza el sistema no asegura en un principio el aporte de oxígeno, lo que nos produce una **deuda de oxígeno**. Esta primera fase se caracteriza por un metabolismo anaerobio.

Hay una segunda fase en la cual las necesidades y el aporte de oxígeno están garantizados.

La tercera fase, después del esfuerzo, es una fase de recuperación, de pago de la deuda de oxígeno. Así, en esta fase, el metabolismo es superior al esfuerzo en ese momento.



Es decir hay tres fases:

- **Fase de instalación:** en la cual se establece la deuda de oxígeno.
- **Fase de estado:** en la cual las necesidades y aportes de oxígeno están equilibrados.
- **Fase de recuperación:** en la cual se oxida el ácido láctico producido por la ausencia de oxígeno de la primera fase.

Normalmente en el trabajo estamos en condiciones de funcionamiento aerobio, por tanto el consumo de oxígeno (VO₂) es utilizado para conocer el metabolismo en el trabajo.

2. Transporte de oxígeno y Consumo de Oxígeno

El transporte de oxígeno tiene como objetivo transportar este elemento fundamental a los tejidos, el cual debe ser asegurado por la respiración y la circulación sanguínea.

a. Respiración

Al pulmón llega la sangre con una presión parcial de oxígeno (40 mm de Hg) menor que la alveolar (100 mm de Hg), por lo tanto el oxígeno difunde hacia la sangre

El dióxido de carbono (CO₂) difunde mucho más fácilmente y su presión en la sangre es mayor (46 mm de Hg) que en el alvéolo (40 mm de Hg), así el CO₂ difunde hacia el alvéolo.

En el músculo ocurre exactamente el fenómeno contrario, es decir el paso del oxígeno de la sangre al músculo y el inverso del CO₂.

El consumo de oxígeno por minuto puede ser medido conociendo la cantidad de oxígeno que entra en los pulmones en un minuto y la que sale en el mismo tiempo.

EL volumen de oxígeno inspirado se calcula conociendo las dos variables siguientes:

- la concentración por litro de oxígeno que se inspira
- los litros que se inspiran, ventilación.

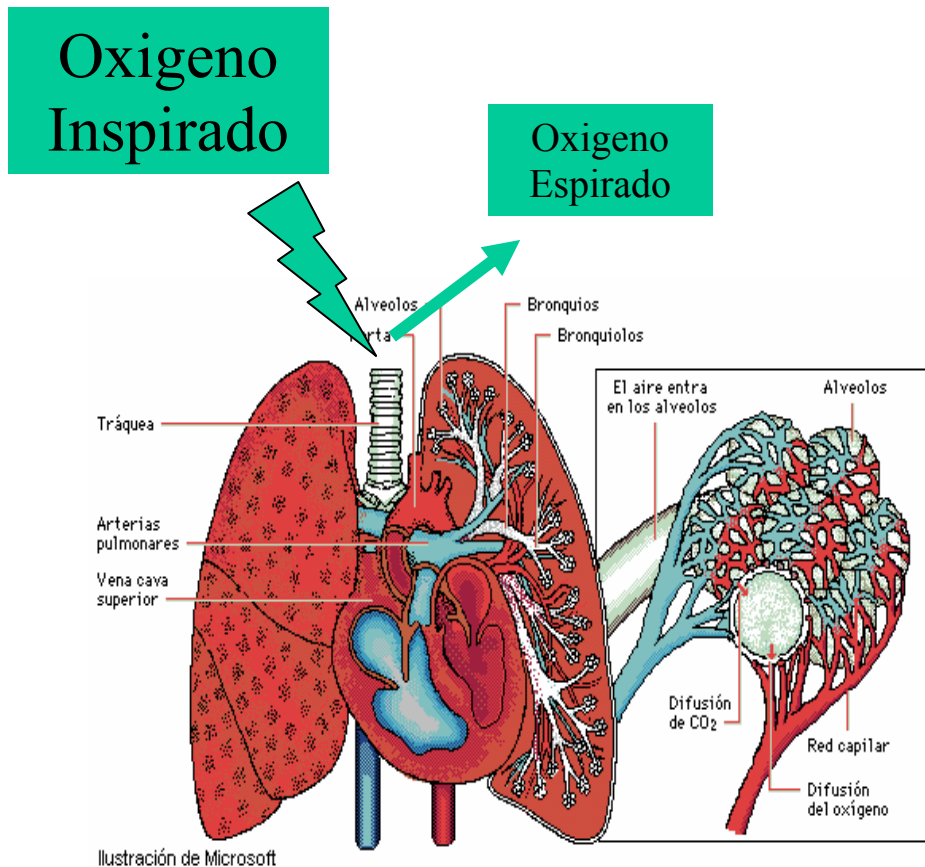
Si estas dos variables, la concentración de oxígeno y la ventilación, son medidas también en la espiración, conoceremos el oxígeno espirado. La diferencia de los datos obtenidos en la inspiración y la espiración será el consumo de oxígeno por minuto.

Consumo de oxígeno = Oxígeno inspirado - oxígeno espirado

O₂ inspirado = [O₂]_{inspiración} * Ventilación

O₂ espirado = [O₂]_{espiración} * Ventilación

En estas tres formulas se sobrentiende que cada uno de los valores es considerado en el tiempo, generalmente en un minuto.



Ejemplo:

Oxigeno inspirado en un minuto:

- 20 litros de aire con un 20 % de oxígeno= 4 litros de oxígeno

Oxigeno espirado en un minuto

- 20 Litros de aire con un 15 % de oxígeno= 3 litros de oxígeno

Consumo de oxígeno:

= 1 litro de oxígeno

b. Circulación

Una vez en la sangre el oxígeno se une a la hemoglobina de los hematíes. El objetivo de la circulación es alimentar a cada órgano con la cantidad de oxígeno necesaria.

Dos variables importantes debemos de tratar:

- **Débito cardiaco** Es la cantidad de sangre bombeada por el corazón en la unidad de tiempo, generalmente un minuto. Es igual al producto del volumen sistólico (cantidad de sangre expulsada en una contracción) por la frecuencia cardiaca.

Débito volumen sistólico * frecuencia cardiaca

- **Diferencia arterio-venosa.** es la diferencia entre la sangre arterial que sale de los pulmones y la que llega a ellos (antes de ser oxigenada).

El consumo de oxígeno (VO_2) se puede calcular a partir de estos dos datos, por la fórmula siguiente:

$$VO_2 = \text{Débito cardiaco} * \text{diferencia arterio-venosa}$$

Otros factores interesantes son:

- **La presión arterial** es función del débito cardiaco y la resistencia arterial, los cuales están ligados por la fórmula siguiente:

Débito presión arterial / resistencia

Se observa que en el esfuerzo el débito aumenta notablemente, y la presión arterial se mantiene o aumenta ligeramente, lo cual es posible gracias a una reducción de las resistencias. En una región determinada el débito sanguíneo, a presión arterial constante, es función de las resistencias en ese territorio.

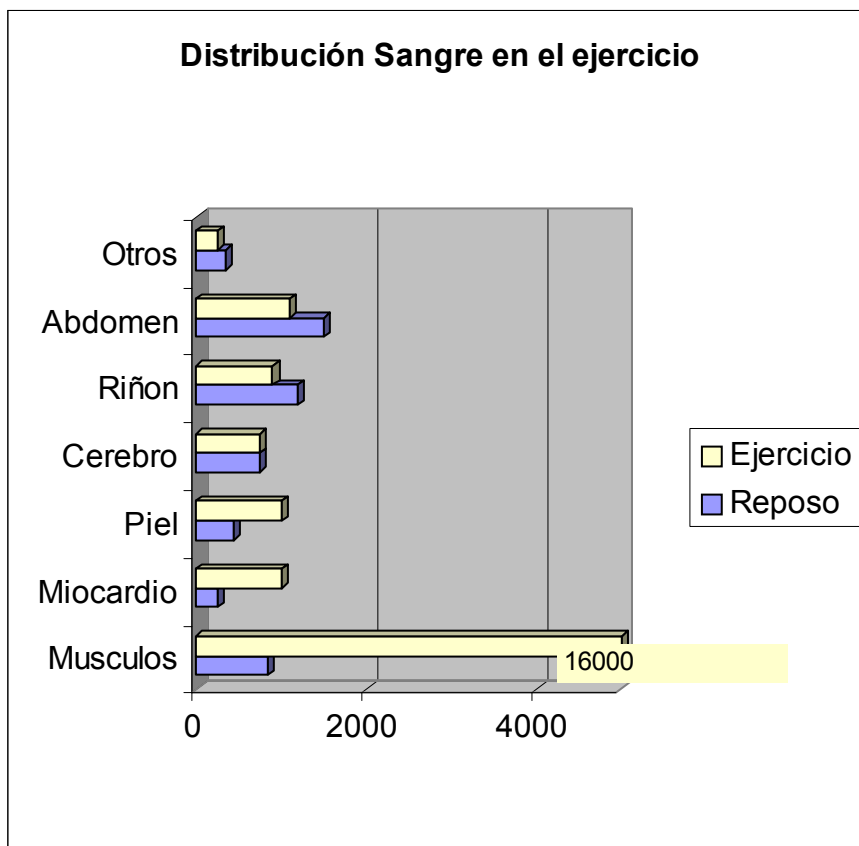
- **Distribución del débito:** en la gráfica se observa como los músculos, en reposo, reciben 850 ml/min y los riñones y tubo digestivo 2700 ml/min. Esto supone que el 50 % del riego se dirige hacia la región esplácnico-renal, la cual posee una actividad metabólica mucho menos importante que la sangre que le llega. Por tanto esta Distribución conlleva un mecanismo de reserva.

3. Adaptación al esfuerzo

Los siguientes hechos ocurren en el esfuerzo:

- **La ventilación pulmonar** en reposo es de aproximadamente 5-6 litros/minuto aumenta a 20-25 litros/minuto en el esfuerzo. La ventilación podría ser capaz de aumentar hasta cifras superiores como 100 l/min.
- **La difusión pulmonar** aumenta y es mas que suficiente para cubrir cualquier necesidad.

- **El débito cardiaco** aumenta de 5 litros/minuto en reposo a 20 litros/minuto en el esfuerzo. Este incremento es función aumento de la frecuencia cardiaca y ligeramente del mayor débito sistólico.
- **La diferencia arterio-venosa** aumenta ya que los órganos roban mas oxígeno a la sangre..
- **La Distribución del débito cardiaco** es modificado profundamente, así aumenta el riego a nivel muscular y miocárdico; disminuyendo ligeramente a nivel renal- esplácnico; manteniéndose a nivel cerebral.



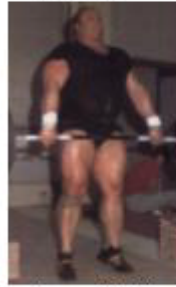
4. Actividad muscular estática y dinámica

Los esfuerzos musculares se pueden dividir según produzcan movimiento (dinámico) o no (estático).



Contracción dinámica

Fuerza isométrica pasiva



Fuerza isométrica activa



Contracción estática o isométrica

Contracción muscular Dinámica

Alternan las contracciones musculares y relajación, lo que favorece un efecto de bombeo de la sangre en el músculo; favoreciendo, a su vez, su oxigenación.

El trabajo muscular (W) puede ser calculado por la formula siguiente:

$$W(\text{joules}) = F (\text{fuerza en Newton}) * L(\text{desplazamiento en metros})$$

El rendimiento mecánico de un músculo en realidad es muy pequeño, es decir la mayor parte del metabolismo produce calor y la parte del metabolismo capaz de producir un trabajo es pequeña. Por ejemplo en las mejores condiciones solo de un 20 a un 25 % del metabolismo es capaz de producir un trabajo mecánico, el resto es transformado en calor.

El trabajo dinámico se puede considerar función directa del consumo de oxígeno, por lo tanto su conocimiento evalúa fielmente la carga de trabajo dinámica.

Contracción Muscular Estática

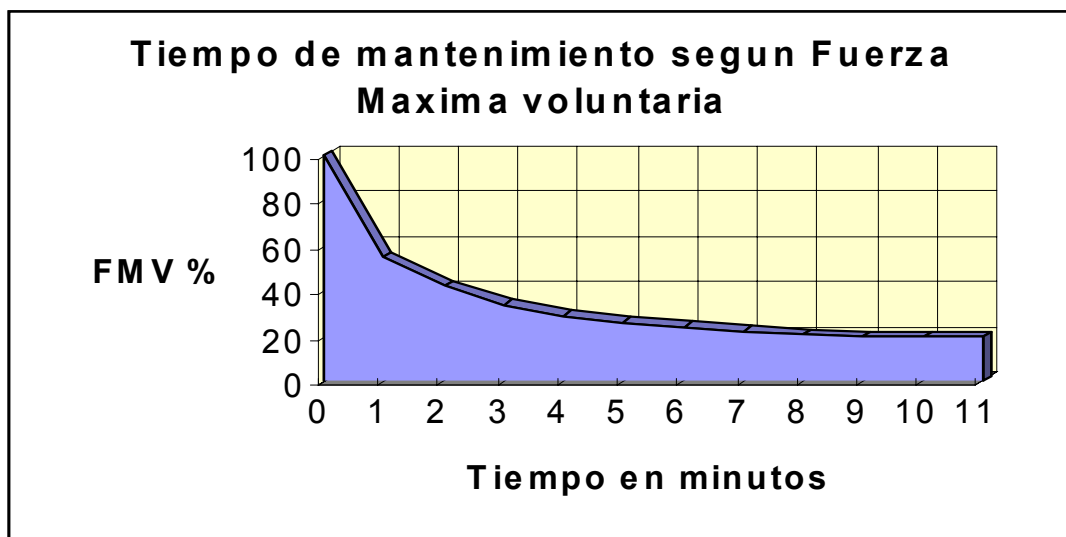
La contracción muscular estática no produce cambios en la longitud muscular es decir no hay desplazamiento. Esto ocurre por ejemplo cuando sostenemos un peso o en el mantenimiento de una postura.

Si observamos la formula anterior el trabajo es nulo ya que el desplazamiento es inexistente. Es decir en las mejores condiciones dinámicas aproximadamente el 25% del metabolismo es transformado en trabajo exterior, mientras que en condiciones estáticas este ultimo supone el 0%.

El rendimiento del hombre como una maquina es realmente débil, entre el 0 al 25 %.

La fuerza ejercida por el músculo puede ser medida a través de un dinamómetro. El parámetro de mayor interés, que caracteriza a la contracción isométrica, es el porcentaje de la fuerza máxima voluntaria (FMV) del músculo utilizada.

La FMV solamente puede ser mantenida al 100 % durante 4 o 5 segundos y el 20 % de ella se podrá mantener mas allá de los diez minutos.



A pesar de que el trabajo que realiza una contracción isométrica es nulo, su coste fisiológico es muy alto. Así podemos subrayar los siguientes fenómenos:

- La misma contracción impide la entrada de la sangre y también la retirada de los "desechos".
- El metabolismo es principalmente anaerobio.

- La frecuencia arterial y la frecuencia cardiaca aumentan considerablemente. Este aumento es función del % de FMV y no de la masa que se contrae, lo que quiere decir que la contracción al 100 % de un pequeño músculo va a tener las mismas consecuencias cardiovasculares que la contracción al 100 % del cuádriceps crural. Esto es muy importante en la postura de trabajo, ya que ciertas posturas mantenidas exigen la contracción de un pequeño músculo y los efectos cardiovasculares por tanto importantes.

En resumen la contracción isométrica produce una fatiga muscular mas rápida, una elevación de la frecuencia cardiaca y de la presión arterial mas importante que la contracción dinámica o de lo que le correspondería por su energía consumida.

Los sistemas de evaluación principal de la actividad estática son:

- El porcentaje de la FMV utilizada.
- El Electro-Mio-Grama EMG, para conocer los músculos que se contraen y su intensidad.
- La frecuencia cardiaca y la tensión arterial son dos índices de las reacciones cardiovasculares de Adaptación frente a la carga estática del trabajo.
- Los lactatos son utilizados sobre todo en medicina deportiva, en salud laboral es bastante mas difícil que den resultados significativos, pero probablemente este es un camino de investigación interesante.
- El Consumo de oxígeno evalúa una parte del metabolismo, ya que el ejercicio estático puro tiene gran componente anaerobio.

En realidad la mayor parte de las tareas tienen una parte dinámica y otra estática, el coste fisiológico que ello conlleva no es necesariamente la suma de los efectos separados de cada una de las partes; el resultado puede ser la suma, la potenciación o mismamente negativo es decir el efecto disminuido.

La frecuencia cardiaca es un buen índice de las repercusiones ligadas a los dos tipos de actividades. Lo cual unido a su facilidad de recogida le hace un parámetro fundamental en el estudio de la actividad en un trabajo.

II. CONCEPTOS

En este capítulo vamos a pasar revista a tres conceptos fundamentales en el estudio del gasto energético: Metabolismo máximo, metabolismo de trabajo y porcentaje del metabolismo utilizado.

1. Metabolismo Máximo.

Es una característica propia del individuo que determina la capacidad máxima de trabajo del sujeto.

Su valoración se puede hacer a través de los siguientes Métodos:

- **Prueba de esfuerzo máxima.** El objetivo es llegar al máximo esfuerzo del sujeto. En ella el sujeto debe hacer cada vez esfuerzos más importantes hasta que no pueda más o se llegue a la frecuencia cardíaca máxima prevista para la edad. A la vez se mide el Consumo de oxígeno VO₂, la Frecuencia Cardíaca y se hace un ECG.

Además del metabolismo máximo conocemos la relación: **Frecuencia cardíaca- metabolismo**, que es lineal y recta en la mayor parte de su trayecto.

Los metabolismos obtenidos se miden en consumo de oxígeno por minuto, es decir litros de O₂/min. Estos se pueden pasar a kcal/min o Wattios por las relaciones siguientes:

$$1 \text{ l O}_2/\text{min} = 5 \text{ kcal/min} = 350 \text{ wattios}$$

- **Prueba de esfuerzo sub-maxima.** En ella se estudian una serie de esfuerzos que no llegan al máximo, estos nos darán una relación recta entre la carga de trabajo y la frecuencia cardíaca. El conocimiento del metabolismo máximo se consigue por la prolongación de la recta de relación FC-M hasta la FC_{máxima} predicha para el sujeto. En realidad normalmente el metabolismo calculado a partir de una prueba sub-maxima es una subestimación del calculado a partir de la prueba máxima.

- **Predicción a partir de la edad y peso del sujeto.** Las formulas siguientes son validas:

$$M_{\text{max}} = (18 - 0,1 \text{ edad}) \text{ Peso} \quad (\text{hombres})$$

$$M_{\text{max}} = (14,5 - 0,1 \text{ edad}) \text{ Peso} \quad (\text{mujeres})$$

o mejor:

$$M_{\text{max}} = (75 - 0,4 \text{ edad}) \text{ Peso}^{2/3} \quad (\text{hombres})$$

$$M_{\text{max}} = (95 - 0,35 \text{ edad}) \text{ Peso}^{2/3} \quad (\text{mujeres})$$

Los metabolismos así obtenidos tienen como unidad el Wattio y la edad se escribe en años y el peso en kilogramos.

2. Metabolismo de trabajo

Es una característica propia del trabajo a desarrollar, es decir un mismo trabajo exige un mismo metabolismo sea cual sea el individuo que lo realiza (con diferencias debidas al peso y la talla).

Por ejemplo subir en bicicleta L'Alpe D'Huez junto a un ciclista supone el mismo gasto energético para las dos personas que lo hagan, otra cosa bien distinta es que cualquier sujeto tenga el "metabolismo" suficiente para llegar sin acabar en una Unidad de cuidados intensivos.

Habitualmente el metabolismo de trabajo se dice que es ligero, medio o pesado(tabla).

Tabla- Valores metabolicos ligero, medio o pesado.

Metabolismo	Sexo	Wattios	Kcal/h
Ligero	hombre	175	150
	mujer	140	120
Medio	hombre	300	250
	mujer	215	190
Pesado	hombre	400	350
	mujer	280	240

Estos datos se tienen que comprender como orientativos, ya que en realidad la característica de ligero, medio o pesado es relativa para cada persona.

3. Porcentaje del metabolismo máximo utilizado

Es la relación entre el metabolismo de trabajo (característico de la tarea) y el metabolismo máximo del sujeto.

$$\% \text{Metabolismo} = M_t / M_{\text{max}}$$

Mt= metabolismo de trabajo

Mmax=metabolismo máximo del sujeto

Es decir pone en relación la tarea con lo máximo que puede trabajar el sujeto.

Para un trabajo de 8 horas se tiene como limite de la penalidad del trabajo en el 33% del metabolismo máximo. Esto se ha confirmado en puestos de trabajo a destajo; como los cortadores de caña de azúcar colombianos pagados por tonelada recogida. Los obreros trabajaban en media el 35 % de su VO2 máxima, llegando en algunos casos a trabajar, en periodos cortos, al 57 %.

También los limites están fijados para fases mas o menos cortas del trabajo en relación al porcentaje del metabolismo máximo utilizado, así el 100 % solo puede ser mantenido durante 5 minutos. El resto de porcentajes y los limites en minutos están en la tabla 2.

Tabla 2- Tiempos limite según el porcentaje del metabolismo max.

%M	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	35%	30%	20%
limite (min)	5	10	20	40	80	160	320	480	640	1440

III. EVALUACION DEL CALOR METABOLICO

La primera consideración es que la norma calcula la producción de calor metabólico (metabolismo) en vatios o vatios por m² de superficie corporal.

Se establecen las siguientes correspondencias:

1 kcal/minuto 70 W
100 kcal/hora = 116.6 W
1 MET= 100 W = metabolismo en reposo

Para el calculo de la superficie corporal se puede utilizar la formula de Dubois:

$$\text{Superficie corporal} = 0,202 * \text{Peso}^{0,425} * \text{talla}^{0,725} \text{ m}^2$$

Como se observara en el desarrollo de este capitulo 1 met, corresponde al metabolismo de reposo sentado.

En la norma ISO 8996 se indican varios niveles de determinación del **del gasto energertico (UNE-EN metabolismo, los cuales se reflejan en la tabla V.1.**

Tabla V.1.- Métodos de determinación 8996)

Nivel	Método	Precisión	Estudio puesto trabajo
I	A Clasificación en función del tipo actividad	Grosera. Riesgo de error importante	No Necesaria
	B Clasificación en función de la profesión		Información sobre el equipamiento técnico y la organización del trabajo
II	A Estimación a partir de los componentes de la actividad	Riesgo elevado de error	Estudios de tiempo necesario
	B. Tablas estimación de la actividad tipo	Precisión ± 15 %	
	C Utilización de la frecuencia cardíaca, dentro de las condiciones definidas		No es necesario

III-	Medición Consumo de oxígeno	Riesgo de error dentro de los límites de precisión de la medida y el estudio de tiempos Precisión $\pm 5\%$	Estudio de tiempos necesario
------	-----------------------------	--	------------------------------

Las técnicas citadas se pueden dividir en 3 grupos:

1. **Metodos de Tabla (métodos I, IIA y IIB)**, en el que el cálculo se realiza por los valores expresados en diferentes tablas. Los errores que puede cometerse se deben fundamentalmente a las diferencias a nivel entre observadores y su nivel de formación.
2. **Método de la frecuencia cardiaca (IIC)**, el cual exige una relación Frecuencia cardiaca-metabolismo adecuada.
3. **Determinación directa del consumo de oxígeno**, que es el método de referencia, a pesar del 5% de error posible.

1. Tablas de estimación del metabolismo.

a) Clasificación del metabolismo por tipo de actividad(I.A.)

La tabla V.2. clasifica los metabolismos en reposo, débil moderado, elevado y muy elevado. Por lo tanto da una información grosera de la producción de calor interna. Esta tabla es necesaria para que las referencias de ligero o pesado sean validas para todos los observadores.

Tabla V.2.- Detérminación del metabolismo por tipo de actividad (NIVEL IA)

Metabolis mo	W/m 2	W	Ejemplo
Reposo	65	11 5	
Debil	100	18 0	<p>Sentado:• Trabajo manual ligero:escritura, mecanografía, contabilidad</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trabajo de manos y brazos: inspección, ensamblado o selección de material ligero. • Trabajo de piernas y brazos: Conducción, interruptores de pie <p>De pie:• Taladrar o fresar piezas, bobinado, enrollar pequeñas armaduras, marcha ocasional</p>
Moderado	165	29 5	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo sostenido de manos y brazo: clavar, limar • Trabajo de manos y de piernas: conducción de camiones o tractores • Trabajo de brazos y tronco: con martillo neumatico, empujar vehiculos, enyesado, manipulación intermitente de materiales moderadamente pesados, escardado, recolección de frutas • Empujar carretas ligeras o carretillas • Marcha a velocidad normal (3,5 a 5.5 Km/h) • Forja
Elevado	230	41 5	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo intenso de brazos y tronco; transporte de materiales pesados, palear, serrar, cepillar o cincelar madera dura, segar a mano, cavar, andar rapido (5.5 a 7 km/h). • Empujar carretas a mano o carretillas pesadas, levantar piezas moldeadas.
Muy elevado	290	52 0	<ul style="list-style-type: none"> • Marcha muy rápida, trabajo con hacha, cavar con intensidad, subir escaleras, rampas o escalas.

b) Tablas de estimación del metabolismo por profesiones (I.B.)

La tabla V.3. da los metabolismos medios de una jornada de trabajo de diferentes profesiones, sin tener en cuenta los largos reposos (como la comida del mediodía). Evidentemente no representa mas que otra aproximación grosera al metabolismo real del sujeto.

Tabla V.3. Estimación por profesiones (NIVEL I B)

Profesiones	Metabolismo W/m2
Artesanos <ul style="list-style-type: none"> • Albañil • Carpintero -Vidriero • Pintor • Carnicero • Panadero • Relojero 	110-160 110-175 90-125 105-140 110-140 55-70
Industria Minera <ul style="list-style-type: none"> • Picador de hulla • Obrero de horno de cocke 	140-240 115-175
Industria siderúrgica <ul style="list-style-type: none"> • Obrero de alto horno • Obrero de horno eléctrico • Moldear a mano • Fundidor 	170-220 125-145 105-165 140-240
Herrería y Serrería <ul style="list-style-type: none"> • Herrero • Soldador • Tornero • Fresador • Mecánico de precisión 	90-200 75-125 75-125 80-140 70-110
Imprenta <ul style="list-style-type: none"> • Compositor manual • Encuadernador 	70-95 75-100
Agricultura <ul style="list-style-type: none"> • Jardinero • Conductor de tractor 	110-190 85-110
Conducción <ul style="list-style-type: none"> • Coche • Autobús • Tranvia • Grúa 	70-90 75-125 80-115 65-145
Diversas <ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio • Profesor • Vendedor • Secretaria 	85-100 85-100 100-120 70-85

c) Tablas de estimación del metabolismo según la actividad (II.A.)

El metabolismo de una persona se puede estimar sumando los diferentes componentes de la actividad. El metabolismo de una actividad concreta se compone de (Ver tabla V.4):

- Metabolismo de base +• postura +• actividad + • desplazamiento y su velocidad

Para el cálculo del valor metabólico de un gesto o movimiento se suman los valores correspondientes a cada componente. El metabolismo basal de la tabla se corresponde con una persona estandar como la siguiente:

- Hombre: 170 cm, 70 Kg, 1,8 m² de superficie corporal, 35 años.
- Mujer: 160 cm, 60 Kg, 1.6 m² de superficie corporal, 35 años

Ejemplo: Albañil masculino que en el momento del estudio está realizando su trabajo en cuclillas y consiste en picar con un martillo una base de hormigón duro, lo realiza con piqueta (una mano)

- 140 W/m² = 44 + 20 + 75 + sin desplazamiento.
- Total =• Met. de base +• postura +• actividad + • desplazamiento y su velocidad

Como se observa cada gesto tiene un valor metabólico determinado. Un trabajo se caracteriza por diferentes gestos. Para calcular el metabolismo medio de todo el trabajo es necesario conocer el tiempo de cada una de las actividades. El valor metabólico medio se obtiene ponderando por el tiempo de cada una de las actividades:

$$M = \frac{\sum m_i t_i}{T}$$

- M = Metabolismo medio
- m_i = metabolismo de la actividad i
- t_i = tiempo de duración de la actividad i
- T = tiempo total.

Es decir la técnica completa requiere:

- * Reconocimiento de cada gesto
- * Cronometraje

Este método puede llevarse a cabo a partir de la observación directa o la grabación en video de varios ciclos de trabajo y el reconocimiento de los



gestos(codificación). Evidentemente el segundo método tiene la ventaja de poder codificar con más tranquilidad repitiendo las veces que sea necesario.

La codificación de las actividades se puede realizar:

- con papel, lápiz y cronómetro
- con la ayuda de un ordenador, en el cual el analista introduce la postura y el ordenador cronometra.

Tabla V.4- Estimación metabolismo según la actividad en w/m2(II.A.)

METABOLISMO DE BASE			
Hombre	44 w/m2	Mujer	41 W/m2
POSTURA			
	Sentado		10 W/m2
	Arrodillado		20
	De cuclillas		20
	De pie		25
	De pie inclinado		30
ACTIVIDAD	Tipo de trabajo	Valor medio	intervalo
• Con las manos	Ligero	15	< 20
	Medio	30	20-35
	Pesado	40	>35
• Con un brazo	Ligero	35	<45
	Medio	55	45-65
	Pesado	75	>65
• Con dos brazos	Ligero	65	< 75
	Medio	85	45-65
	Pesado	105	> 95
• Con el cuerpo	Ligero	125	< 155
	Medio	190	155-230
	Pesado	280	230-330
	Muy pesado	390	> 330
DESPLAZAMIENTO*			
Andar entre 2 a 5 km/h		110	
Subir: velocidad 2-5 km/h: Pendiente 5°		210	
Pendiente 10 °		360	
Bajar velocidad 5 km/h: Inclinación 5°		60	
Inclinación 10°		50	
Andar con una carga 10 Kg al dorso, 4 Km/h		125	
carga 30 Kg		185	
carga 50 Kg		285	
Subir por una escalera		1.725	
Descender por una escalera		480	
Subir una escala inclinada: Sin carga		1.660	
Con 10 Kg de carga		1.870	
Con 50 Kg de carga		3.320	
Subir por una escala vertical: Sin carga		2.030	
Con 10 Kg de carga		2.335	
Con 50 Kg de carga		4.750	

Los valores del desplazamiento incluyen la Postura y sus unidades son W/m2 por m/s. Es decir necesitan corrección según la velocidad del sujeto.

Este método aumenta su fiabilidad en el caso de trabajos de ciclo corto y repetido. En este caso las secuencias de trabajo y por lo tanto sus gestos se repiten.

Como conclusión se puede decir que es un método fiable sobre todo en los casos de ciclos cortos y repetidos, mejorando con una codificación informatizada de los gestos y las posturas.

- Ejemplo (tabla V.4.): Un administrativo femenino trabaja en un archivo. Durante 1,5 horas a la mañana su trabajo consiste en introducir al ordenador los numeros de historia que le han pedido en consultas externas de un hospital. Durante 0,5 horas lleva las historias hasta un mostrador donde las deja y recoge otras hasta otro mostrador. Normalmente las lleva en bloques de tres historias.

Cual es el costo energetico de estas 2 horas de trabajo:

	Basal	Postura	Actividad	Movimiento	Total
Introducir datos	41	10 sentado	15 ligero manos	0	66
Llevar hº	41	0 incluido en movimiento	15 ligero con un brazo	110 andar	166

Metabolismo medio= $(66 * 1.5 \text{ horas} + 166 * 0.5 \text{ horas}) / 2 \text{ horas} = 182 \text{ W/m}^2$

Su valor en watos y aproximado a multiplos 5: $182 \text{ W/m}^2 * 1.6 \text{ m}^2 = 290 \text{ W}$

d) Tablas indicando el metabolismo por actividades tipo (IIB)

En realidad se utiliza el mismo sistema de calculo que el punto anterior con la diferencia de la utilización de la tablas V.5.- metabolismo por actividades tipo de las paginas siguientes

Tabla	V.5-	Calculo	metabolismo	por	actividades	tipo
Actividad			W/m²			
1. Actividades de base						
1.1. Andar en llano						
2 km/h			110			
3 km/h			140			
4 km/h			165			
5 km/h			200			
1.2. Subir a 3 Km/h						
pendiente de 5°			195			
pendiente de 10°			275			
pendiente de 15°			390			
1.3. Bajar a 5 km/h						
pendiente 5°			130			
pendiente 10°			115			
pendiente 15°			120			
1.4. Subir escalera 172cm/escalon						
80 escalones/minuto			440			
1.5. Descender escalera						
80 escalones/minuto			155			
1.6 Transportar una carga en llano:						
10 Kg			185			
30 Kg			250			
50 Kg			360			
					2. PROFESIONES	
					2.1. Construcción	
					ladrillo macizo (3.8 kg)	150
					ladrillo Hueco (4.2 kg)	140
					ladrillo Hueco (15.3 kg)	135
					ladrillo Hueco (23.4 Kg)	125
					2.1.2 Prefabricación de productos acabados en hormigon: encofrado-desencofrado	150
					Colocar armaduras acero	130
					Colocar hormigon	180
					2.1.3 Construcción de paredes de:	155
					cemento amasado	275
					colado de cemento para cimientos	220
					compactado por vibración	180
					encofrado	270
					carga carretilla con piedra-mortero	
					2.2 Industria Siderurgica	
					2.2.1 Alto Horno	
					preparación canal colada	340
					taladras	430
					2.2.2. Moldeado a mano	
					moldeado con piezas medianas	285
					comprimir con martillo neumatico	175
					moldeado piezas pequeñas	140

2.2.3. Moldeado a maquina	
desmoldeado	125
moldeado, colado por un hombre	220
moldeado, colado por dos hombre	210
moldeado, colada suspendida	190
Actividad	W/m²
2.2.4. Taller de acabado	
con martillo neumatico	175
moler, cortas	175
2.3. INDUSTRIA FORESTAL	
2.3.1. Transporte	
Marcha y transporte(7 kg) en el bosque a 4 km/h	285
llevar tronadora:18 Kg a 4 km/h	385
trabajo con hacha de 2 Kg	
33 golpes/minuto	500
cortar raices	375
poda de arboles	415
2.3.2. Serrar	
Corte a contrahilo, dos hombres	
60 golpes/min, 20 cm ²	415
40 golpes/min, 20 cm ²	240
Abatir con la tronadora	
un hombre	235
dos hombres	205
Corte a contrahilo con tronadora	
un hombre	205
dos hombres	190
Quitar la corteza	
valor medio en verano	225
valor medio en invierno	390

2.4. AGRICULTURA	
Cavar - 24 golpes/min	380
Labrar con arado y caballos	235
Labrar con tractor	170
Fertilizar	
a mano	280
semillero tirado por animales	250
tractor	95
Segar	170
2.5. DEPORTES	
2.5.1. Carrera	
9 km/h	435
12 Km/h	485
15 Km/h	550
2.5.2. Ski en llano, buena nieve	
7 Km/h	350
9 Km/h	405
12 Km/h	510
2.5.3. Patinaje	
12 Km/h	225
15 Km/h	285
18 Km/h	360
2.6. TRABAJOS DOMESTICOS	
menaje	100-
cocinar	200
fregar la vajilla	80-
lavado a mano	135
rasurado a mano	145
	120-
	220
	100

2. Medición del consumo de oxígeno (nivel III)

La cantidad del consumo de oxígeno es igual a la diferencia entre la cantidad de oxígeno inspirada y la espirada, calculada en un tiempo determinado. Normalmente se calcula en litros de oxígeno por minuto.

Existen aparatos portátiles, más o menos ligeros que permiten una fiabilidad entre el 5 al 10%. Estos aparatos son una especie de mochila ajustable a la espalda, con unos tubos que se unen a una mascarilla por la que el sujeto respira.

Los datos necesarios para el cálculo son la concentración de oxígeno a la inspiración y a la espiración así como el débito ventilatorio en un minuto. Es decir se calcula a partir de:

- la concentración por litro de oxígeno a la entrada (inspiración) y a la salida (espiración)
- el volumen de aire por minuto.

Es el método más fiable para el conocimiento del metabolismo de trabajo pero su puesta en práctica no está exenta de problemas:

- El costo de los aparatos es elevado.
- El efecto observador. La medida requiere la presencia del observador a proximidad del trabajador, lo cual unido al infort del aparato pueden inducir modificaciones en el comportamiento del trabajador.
- Aceptabilidad por parte del trabajador. El trabajador debe respirar con una máscara a la vez que realiza su tarea, lo cual es difícilmente aceptable.
- El peso del aparato. Aunque hoy día los aparatos son ligeros introducen un peso adicional, con lo cual tenemos una fuente de error, más importante cuanto menos ejercicio exija la tarea.

En la práctica solo es válido para trabajos físicos importantes.

3. Estimación del metabolismo a partir de la frecuencia cardiaca

a) Introducción

Este tipo de estimaciones se basan en que existe una relación entre la Frecuencia cardiaca y el gasto energético de un sujeto. Asimismo se basa en que esta relación es de tipo lineal. Todo esto no es más que una simplificación de un proceso más complejo.

La propia norma UNE-EN 28996 dice que la relación Frecuencia cardíaca-Metabolismo es recta en la "zona media" de toda la curva. Es decir entre los rangos de Frecuencia cardíaca que se encuentran a partir de 120 ppm (el componente nervioso es mínimo) hasta unas 20 ppm menor que la máxima. Esta interpretación se discute más adelante

Hoy en día existen en el mercado diversos sistemas de recolección continua de la frecuencia cardiaca fiables, simples y aceptables para el trabajador. Los datos recogidos pueden ser transmitidos a un ordenador compatible. De esta forma conocemos un parámetro fundamental de la respuesta fisiológica de un sujeto en su trabajo, nos queda la metodología necesaria para poder explotar estos datos.

El registro de la frecuencia cardiaca comienza después de haber recabado los datos siguientes del trabajador: edad, sexo, talla, peso; siendo interesante conocer su carácter fumador o no.

Después se colocara el aparato de monitorización, compuesto de un cinturón torácico y un reloj. El primero contiene dos electrodos electrocardiográficos y emite radiofónicamente la frecuencia cardiaca, la cual es captada por el reloj de pulsera. Este segundo elemento es un microordenador capaz de registrar y almacenar los datos sobre frecuencia cardiaca.

Al final de la grabación se podrán pasar estos datos a un ordenador compatible, comenzando la explotación de los detalles de la siguiente manera:

- * Análisis de la gráfica.
- * Obtención del metabolismo equivalente, es decir el metabolismo que, en una prueba de esfuerzo, habría dado lugar a la frecuencia cardiaca media FCm.
- * Descomposición de la FC, la FC térmica e isométrica.

b) Análisis gráfico

Su interés radica en el estudio cualitativo de las respuestas fisiológicas del sujeto, observando en un primer golpe las distintas fases de trabajo, pudiendo orientar si hay

algún período crítico, ya sea por las propias capacidades del trabajador o de la tarea que realiza.

c) Metabolismo equivalente

Si conocemos la relación FC-M, mediante una prueba de esfuerzo: al conocer la FC conocemos el metabolismo.

Esta relación, simplificando, sigue un modelo lineal recto como el siguiente:

$$FC = a + b M$$

Los factores "a" y "b" se pueden estimar en ausencia de prueba de esfuerzo de la siguiente manera.

Para caracterizar una recta con conocer dos puntos es suficiente, si además son el más "alto" y el más "bajo" conocemos todo el recorrido de la relación entre la FC y M:

- el más alto (FC_{max}-M_{max})
- el inferior (FC_o- M_o)

Las formulas a utilizar para estimar estos cuatro datos son:

1º $FC_{max} = 205.5 - 0.62 * \text{edad}$ (Chaffin, 1966)

2º $M_{max} = (75 - 0.4 * \text{edad}) * \text{Peso}^{2/3}$ (Hombres)

$M_{max} = (56 - 0.35 * \text{edad}) * \text{Peso}^{2/3}$ (Mujeres).

(unidades: edad en años, peso en kgs y metabolismo en Watios)

3º FC_o: se obtiene teniendo al sujeto sentado durante 5 minutos en ambiente neutro.

4º M_o = 105 W hombres (105 W) (= M.basal+posicion sentado)

95 W mujeres (95 W) (= M.basal+posicion sentado)

De acuerdo con estas consideraciones la pendiente de la recta (factor "b") se calcula de la siguiente manera:

$$b = \frac{FC_{max} - FC_o}{M_{max} - M_o}$$

La intersección o factor "a" de la recta se calcula por la formula:

$$a = FC_o - b M_o$$

Si conocemos FCm podemos calcular fácilmente el Metabolismo equivalente por la formula:

$$FCm = a + b \text{ Meq}$$

d). Descomposición de la FC: FC térmica e isométrica

La frecuencia cardiaca en un momento dado se puede considerar como la suma de las frecuencia siguientes:

- reposo (FCo)
- metabolica (FCm)
- isométrica (FCi)
- térmica (FCt)
- neurogena (FCn)
- error

$$FC = FCo + FCm + FCi + FCt + FCn + \text{error}$$

El calculo del metabolismo a partir de la frecuencia cardiaca es valido si lo que hemos recogido son los dos primeros componentes (FC basal y metabolica). En este punto vamos a comentar el resto:

- La FCn (neurogena) y el error tienden a desaparecer si el trabajo necesita un ejercicio físico moderado o intenso.
- La FCt (térmica) solo aparece si hay una exposición al calor evidente. Ella va a ser la causa de una sobrestimación del metabolismo del trabajo, ahora bien se puede estimar de la siguiente manera:
 - a* Calculamos el metabolismo por el método descrito de la FC (sobrestimado) .
 - b* Calculamos el metabolismo por la medida directa del consumo de oxígeno o por la Descomposición de movimientos y gestos. Estos métodos no tienen en cuenta la sobrestimación citada anteriormente.
 - c* La diferencia entre los puntos a* y b* es la sobrestimación del calculo de la FCt (térmica).

Existe un segundo método para conocer la sobrecarga cardiaca en la exposición al calor: FC a los 4 minutos de reposo.

Este se basa en que a los 4 minutos de cesar el ejercicio las FCm(metabolica) y FCi(isométrica) desaparecen, no así la FCt(térmica). En ese momento la FC es

función de la FCo y la FCt, si conocemos la basal(FCo) es facil obtener la termica. Se puede mejorar este conocimiento de la FCt haciendo la media del 3º, 4º y 5º minuto después del ejercicio y restándole el valor basal:

$$FC^* = \frac{FC3 + FC4 + FC5}{3}$$

$$FCt = FC^* - FCo$$

- La *FCi(isométrica)* va a inducir una sobrestimación semejante a la producida por la FCt y en realidad con el primer método citado descomponemos la frecuencia cardiaca térmica e isométrica, siendo imposible separarlas mas que con la observación del trabajo y comprobar la existencia de ejercicios isométricos o no, también puede ayudarnos el método de la FC a los 4 minutos después del ejercicio.

En cuanto al limite de tolerancia de la frecuencia cardiaca termica se aconseja como maximo 30 pulsaciones por minuto.

CONCLUSION

El metabolismo tiene varias formas de ser determinado, se debe de escoger el método mas fiable. Teniendo en cuenta que:

- * La medida directa del consumo de oxígeno tiene su interés en los trabajos físicos moderados o importantes.
- * La determinación continua de la frecuencia cardiaca tiene un interés mucho mas allá de la propia evaluación del metabolismo.
- * Los métodos de tabla son medianamente satisfactorios si se utilizan los del nivel II.
- * Los métodos del nivel I son aproximativos.
- * La recogida continua de la frecuencia cardiaca depara un valor metabolico sobrestimado por el riesgo térmico. Es interesante conocer esta sobrestimacion, lo cual se consigue si se conoce el metabolismo determinado por otro método del nivel II o III.
- * **La importancia de la sobrecarga térmica en el corazón se conoce al 4º minuto de reposo después de haber trabajado en ambiente caluroso y conociendo el valor basal habitual del sujeto.**