

Determinación del metabolismo energético mediante tablas

*Determination of metabolic rate using tables
Détermination du métabolisme énergétique en utilisant des tables*

Redactora:

Silvia Nogareda Cuixart
Lda. en Medicina y Cirugía

CENTRO NACIONAL DE
CONDICIONES DE TRABAJO

El consumo metabólico sirve para evaluar la carga física y es, así mismo, una variable necesaria para valorar la agresión térmica. El objetivo de esta NTP es presentar distintos métodos para determinar el gasto energético, basados en la Norma UNE 8996 "Ergonomía del ambiente térmico. Determinación de la tasa metabólica" que es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 8996 de octubre de 2004, que a su vez adopta íntegramente la Norma Internacional ISO 8996:2004. La Norma, que anula y sustituye a la Norma UNE-EN 28996 de marzo de 1995, forma parte de una serie de normas internacionales que hacen referencia al ambiente térmico. En ella se describen los diferentes métodos de determinación del consumo energético indicando el nivel de precisión de cada uno de ellos. Esta Nota Técnica de Prevención sustituye la parte de la medición del consumo metabólico mediante tablas de la NTP-323: Determinación del metabolismo energético.

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

1. INTRODUCCIÓN

El metabolismo, que transforma la energía química de los alimentos en energía mecánica y en calor, mide el gasto energético muscular. Este gasto energético se expresa normalmente en unidades de energía y potencia: kilocalorías (kcal), joules (J), y vatios (w). La equivalencia entre las mismas es la siguiente:

- 1 kcal = 4,184 kJ
- 1 kJ = 0,239 kcal
- 1 kcal/h = 1,161 w
- 1 w = 0,861 kcal/h
- 1 kcal/h = 0,644 w/m²
- 1 w / m² = 1,553 kcal / hora (para una superficie corporal estándar masculina).

Tal como indica la propia norma, está pensada para determinar la tasa metabólica en relación con la ergonomía del ambiente climático de trabajo, aunque también puede utilizarse para la evaluación de métodos de trabajo, del gasto energético asociado a trabajos específicos o del gasto total de una actividad.

Las estimaciones, tablas y otros datos incluidos en esta norma internacional se refieren a un individuo "medio":

- hombre de 30 años de edad, 70 kg de masa y 1,75 m de altura (área de la superficie del cuerpo de 1,8 m²);
- mujer de 30 años de edad, 60 kg de masa y 1,70 m de altura (área de la superficie del cuerpo de 1,6 m²).

La propia norma establece la necesidad de hacer los ajustes oportunos cuando se traten con poblaciones especiales, niños, personas mayores, individuos con minusvalías, etc.

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 UNE 8996, clasificados en niveles según su precisión y dificultad.

2. DETERMINACIÓN DEL CONSUMO METABÓLICO

Tal como se ha visto en la tabla 1, se consideran cuatro niveles que podemos clasificar en dos tipos de métodos: estimación del consumo metabólico a través de tablas que incluyen los niveles de tanteo y de observación y la determinación del consumo metabólico mediante medición de parámetros fisiológicos que incluye los niveles de análisis y de actuación experta.

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 se ajusta a la que sirvió de base para la confección de las tablas, como que las acciones generadoras de un gasto energético son las mismas que las expresadas en las tablas. Estos dos factores son los que marcan las desviaciones más importantes respecto a la realidad y motivan que este tipo de métodos ofrezcan menor precisión que los basados en mediciones de parámetros fisiológicos. A cambio son mucho más fáciles de aplicar y en general son los más utilizados.

Así mismo, hay que tener en cuenta que determinadas condiciones pueden variar los resultados como, por ejemplo, el estrés, las prendas de abrigo o protección pesadas o el frío intenso.

Nivel	Método	Precisión	Inspección del lugar de trabajo
Tanteo	Clasificación del tamaño de la ocupación.	Información aproximada.	No es necesaria, pero se requiere información sobre el equipo técnico y la organización del trabajo.
	Clasificación del tamaño de la actividad.	Muy alto riesgo de error.	
Observación	Tablas de evaluación a partir de los requisitos de la tarea.	Alto riesgo de error. Precisión: $\pm 20\%$.	Se requiere un estudio temporal y del movimiento.
	Tablas para actividades específicas.		
Análisis	Medida del ritmo cardíaco bajo condiciones determinadas.	Riesgo de error medio. Precisión: $\pm 10\%$.	Se requiere un estudio para determinar un periodo representativo.
Actuación experta	Medida del consumo de oxígeno.	Errores dentro de los límites de precisión de la medida o del estudio temporal y del movimiento. Precisión: $\pm 5\%$.	Se requiere un estudio temporal y del movimiento.
	Método del agua doblementemarcada.		No es necesaria la inspección del lugar de trabajo, pero deben evaluarse las actividades de ocio.
	Calorimetría directa.		No es necesaria la inspección del lugar de trabajo.

Tabla 1: Métodos para determinar el gasto energético. UNE 8996

Ocupación	Tasa metabólica ($W \cdot m^{-2}$)
Trabajo sedentario	55 a 70
Trabajo administrativo	70 a 100
Conserje	80 a 115
Albañil	110 a 160
Carpintero	110 a 175
Cristalero	90 a 125
Pintor	100 a 130
Panadero	110 a 140
Carnicero	105 a 140
Relojero	55 a 70
Operador de vagoneta	70 a 85
Picador de carbón	110
Operador de horno de coque	115 a 175
Operador de alto horno	170 a 220
Operador de horno eléctrico	125 a 145
Moldeo manual	140 a 240
Moldeo a máquina	105 a 165
Fundidor	140 a 240
Herrero	90 a 200
Soldador	75 a 125
Tornero	75 a 125
Fresador	80 a 140
Mecánico de precisión	70 a 110
Componedor manual artes gráficas	70 a 95
Encuadernador	75 a 100
Jardinero	115 a 190
Tractorista	85 a 110
Conductor de automóvil	70 a 100
Conductor de autobús	75 a 125
Conductor de tranvía	80 a 115
Operador de grúa	65 a 145
Ayudante de laboratorio	85 a 100
Profesor	85 a 100
Dependiente de comercio	100 a 120

Tabla 2. Tasa metabólica para diversas ocupaciones

Consumo metabólico según la ocupación

Se obtiene el consumo metabólico a través de tablas (tabla 2) 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, que se define más adelante.

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.

Los valores son valores medios para el tiempo total de trabajo, sin considerar los periodos de descanso prolongados.

EJEMPLO 1

Estimación del consumo metabólico de un soldador.

Mediante la (tabla 2) se obtiene:

M = 75 a 125 w/m² (comparar con ejemplo 5)

Consumo metabólico según el tamaño 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. Se supone que las actividades incluyen periodos de descanso cortos. 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 3 se representa la mencionada clasificación por tipos de actividad.

Ejemplos

A continuación se dan algunos ejemplos de situaciones correspondientes a cada una de las cuatro categorías de intensidad metabólica que se indican.

Clase Rango de la tasa metabólica W·m ⁻²	Rango de la tasa metabólica W·m ⁻²
Reposo	55 a 70
Tasa metabólica baja	71 a 130
Tasa metabólica moderada	131 a 200
Tasa metabólica alta	201 a 260
Tasa metabólica muy alta	> 260

Tabla 3: Clasificación del metabolismo por tipo de actividad

Metabolismo ligero

Postura sedente realizando un trabajo manual ligero como el trabajo de oficina, control de calidad, utilización de herramientas pequeñas, conducción de automóviles, etc.

Postura de pié realizando un trabajo manual ligero con o sin utilización de herramientas no pesadas o con desplazamientos ocasionales a una velocidad máxima de 2,5 km/hora.

Metabolismo moderado

Trabajo manual utilizando de manera continuada las manos y los brazos; trabajo en las que se utilicen las extremidades superiores e inferiores, conducción de vehículos grandes o pesados, utilización de carretillas ó de maquinaria grande ó pesada; trabajo de brazos y tronco; trabajo de agricultura y jardinería, manipulación de pesos moderados, desplazamientos a una velocidad de 2,5 a 5,5 km/hora.

Metabolismo elevado

Trabajo intenso con extremidad superior, utilización de brazos y tronco para realizar la tarea; manipulación manual de materiales pesados o muy duros; utilización maquinaria pesada, martillo; serrado; segar a mano; manipulación de carretillas muy cargadas, trabajos pesados de construcción, trabajos manuales pesados en agricultura o jardinería; desplazamientos a una velocidad de 5,5 a 7 km/hora.

Metabolismo muy elevado

Actividad muy intensa a ritmo muy rápido cercano al máximo; utilización de maquinaria o herramientas muy pesadas, trabajar manual muy intenso; subir escaleras empinadas y largas ó rampas pronunciadas; desplazamientos muy rápidos ó andar a una velocidad superior a 7 km/hora.

EJEMPLO 2

Estimación del consumo metabólico medio aproximado del trabajo típico de oficina (escribir, teclear, dibujar, anotar contabilidad).

A través de la tabla 3 y teniendo en cuenta las actividades que suelen realizarse en una oficina, se obtiene el valor del consumo metabólico medio:

M = 100 w/m², clasificable como metabolismo ligero.

Consumo metabólico a partir de los requisitos de la tarea

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.

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. La tasa metabólica se determina añadiendo a la tasa metabólica basal las tasas metabólicas asociadas a la postura del cuerpo, al tipo de trabajo y al movimiento del cuerpo, en relación con la velocidad de trabajo. Es posiblemente el sistema más utilizado para determinar el consumo metabólico:

- **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 4 muestra su valor en función del sexo y la edad. Puede tomarse como una buena aproximación, 44 w/m² para los hombres y 41 w/m² 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).
- **Componente postural.** Es el consumo de energía que tiene una persona en función de la postura que mantiene (de pie, sentado, etc.). En la tabla 5 se muestran los valores que hay que añadir a la tabla 6 cuando no se realiza la tarea en posición sedente.
- **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.) La tabla 6 muestra los valores correspondientes incluyendo el metabolismo basal. Si quiere hacerse un cálculo personalizado, hay que restar 45 w/m² a cualquiera de los valores de la tabla 6 y sumar el consumo metabólico para la persona determinada, teniendo en cuenta el sexo y la edad, según los valores que se recogen en la tabla 4.

EJEMPLO 3

Cálculo del consumo metabólico de un individuo (varón) de 25 años de edad, que suelda piezas metálicas con soldadura eléctrica al arco de electrodos consumibles. El tipo de trabajo puede considerarse moderado con un brazo (manejo del electrodo) y la posición de trabajo es de pie, ligeramente inclinado sobre la pieza a soldar. (Comparar con ejemplo 1).

Componente postural (tabla 5): 20 w/m²

Componente del tipo de trabajo (tabla 6): 110 w/m²

Consumo metabólico medio global **M = 130 w/m²**

Si hacemos un cálculo personalizado:

Componente postural (tabla 5): 20 w/m²

Componente del tipo de trabajo (tabla 6):

110 – 45 = 65 w/m²

Metabolismo basal (tabla 4): 46,678 w/m²

Consumo metabólico medio global

M = 20 + 65 + 47,7 = 132 w/m²

VARONES		MUJERES	
Años de edad	Wattios/m ²	Años de edad	Wattios/m ²
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 4: Metabolismo basal en función de la edad y sexo

Postura del cuerpo	Tasa metabólica (en W·m ⁻²)
Sentado	0
De rodillas	10
En cuclillas	10
De pie	15
De pie e inclinado hacia delante	20

Tabla 5. Suplemento para la tasa metabólica debido a las posturas del cuerpo

Parte del cuerpo	Rango	Carga de trabajo (en W·m ⁻²)		
		Ligera	Media	Pesada
Ambas manos	Rango	< 75	75 a 90	> 90
Un brazo	Rango	< 100	100 a 120	> 120
Ambos brazos	Rango	< 130	130 a 150	> 150
Cuerpo entero	Rango	< 210	210 a 285	> 285

Tabla 6. Tasa metabólica para la carga de trabajo según la parte del cuerpo implicada

Tasa metabólica para actividades específicas

Se puede utilizar la tabla 7 *Tasa metabólica para actividades específicas* para conocer la tasa metabólica de una determinada actividad en concreto.

Si las velocidades de trabajo difieren de las de la tabla, pueden interpolarse valores siempre y cuando se esté dentro del rango de un $\pm 25\%$ de la velocidad descrita en la misma.

EJEMPLO 4

Estimar el consumo metabólico de un albañil que está construyendo una pared colocando los ladrillos a una velocidad media de 5 ladrillos/min.

Consultando la tabla 7:

Consumo metabólico medio global $M = 170 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$

Variación del gasto energético para un ciclo de trabajo

Se considera que hay una variación del gasto energético para un ciclo de trabajo cuando las condiciones del trabajo varían durante la jornada laboral por lo que las tablas no son de aplicación directa y los valores de consumo energético deben ponderarse en el tiempo. Para la tasa metabólica media ponderada en función del tiempo se emplean los datos de las tablas 5, 6 ó 7.

Esto exige el cronometraje del puesto de trabajo, de forma que se conozca la duración de cada tarea, de la actividad, etc. Cuando se conocen estos datos y se hace un análisis detallado de las actividades que se llevan a cabo a lo largo de un ciclo de trabajo, el consumo metabólico medio de una serie de tareas consecutivas viene dado por la expresión:

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

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

M = consumo metabólico medio durante el periodo de tiempo T (un ciclo de trabajo)

M_i = consumo metabólico durante el periodo de tiempo t_i (tiempo de actividad)

t_i : duración de la actividad en minutos

T : duración del ciclo

Actividad		W·m ⁻²
Dormir		40
Recostado		45
Descanso, sentado		55
Descanso, de pie		70
Caminar en horizontal, suelo llano y firme sin carga	a 2 km·h ⁻¹	110
	a 3 km·h ⁻¹	140
	a 4 km·h ⁻¹	165
	a 5 km·h ⁻¹	200
Caminar en horizontal, suelo llano y firme con carga	10kg, 4 km·h ⁻¹	185
	30 kg, 4 km·h ⁻¹	250
Caminar cuesta arriba, suelo liso y firme sin carga	Inclinación de 5°, 4 km·h ⁻¹	180
	Inclinación de 15°, 3 km·h ⁻¹	210
	Inclinación de 25°, 3 km·h ⁻¹	300
Caminar cuesta arriba, suelo liso y firme con una carga de 20 kg	Inclinación de 15°, 4 km·h ⁻¹	270
	Inclinación de 25°, 4 km·h ⁻¹	410
Caminar cuesta abajo a 5 km·h ⁻¹ , sin carga	Inclinación de 5°	135
	Inclinación de 15°	140
	Inclinación de 25°	180
Subir por una escalera de mano, inclinada 70°, a un velocidad de 11,2 m·min ⁻¹		
Sin carga		290
con una carga de 20 kg		360
Empujar o tirar de una vagoneta, 3,6 km·h ⁻¹ , suelo llano y firme		
fuerza de empuje: 12 kg		290
fuerza de tiro: 16 kg		375
Empujar 'una carretilla, suelo llano, 4,5 km·h ⁻¹ , ruedas de goma, 100 kg de carga		230
Limar hierro	42 golpes de lima/min	100
	60 golpes de lima/min	190
Trabajar con un mazo, a 2 manos, peso del mazo 4,4 kg, 15 golpes/min		290
Trabajo de carpintería	serrado a mano	220
	serrado a máquina	100
	cepillado a mano	300
Colocar ladrillos, 5 ladrillos/min		170
Atornillar		100
Cavar una zanja		290
Actividad sedentaria (oficina, hogar, escuela, laboratorio)		70
De pie, actividad ligera (comprar, laboratorio, industria ligera)		95
De pie, actividad media (dependiente de tienda, trabajo doméstico, trabajo con máquina)		115
Trabajo con máquina herramienta		
ligero (ajuste, montaje)		100
medio (carga)		140
pesado		210
Trabajo con una herramienta manual		
ligero (pulido ligero)		100
medio (pulido)		160
pesado (taladrado pesado)		230

Tabla 7. Tasa metabólica para actividades específicas

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.

EJEMPLO 5

Cálculo del consumo metabólico medio de un operario, varón de 45 años de edad, que controla un proceso químico discontinuo y cuyo trabajo habitual puede considerarse como la repetición de ciclos como el que se describe a continuación:

Actividades elementales de un ciclo:

Arrastrar sacos de 30 kg (caminar con carga). Tabla 7
Alimentación de reactores (pesado con dos brazos). Tabla 6
Esperar de pie frente a controles (descanso de pie). Tabla 7
Caminar por la planta (caminar sin carga). Tabla 7
Subir escaleras (subir sin carga). Tabla 7
Bajar escaleras (caminar cuesta abajo). Tabla 7

Tiempo total de duración: 46 minutos

En este caso, se utiliza la tabla 6 sin restar el consumo metabólico y se le suma el valor de la postura (Tabla 5). Los cálculos a realizar se indican en la tabla 8, en la que se obtiene un consumo metabólico medio global $M = 131 \text{ w/m}^2$

Puesto de trabajo: Alimentación del reactor		Fecha: 28 enero 20XX				
Categoría		M'		Tiempo		Total
		$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$		Min.		
Tarea 1	Arrastrar sacos de 30 kg	250	x	3	=	750
Tarea 2	Alimentación de reactores en postura de pie inclinado	160+20	x	10	=	1800
Tarea 3	Esperar de pie frente a controles	70	x	15	=	1050
Tarea 4	Caminar por la planta	110	x	15	=	1650
Tarea 5	Subir escaleras	290	x	2	=	580
Tarea 6	Bajar escaleras	180	x	1	=	180
	Total			46		6010
	Tasa metabólica media ponderada en función del tiempo					130,6

Tabla 8. Ejemplo del consumo metabólico para un ciclo de trabajo

BIBLIOGRAFÍA

UNE-EN ISO 8996 (ISO 8996:2004)

Ergonomía del ambiente térmico. Determinación de la tasa metabólica

AENOR, Junio 2005

MALCHAIRE J.

Ergonomics of the thermal environment. Determination of metabolic rate

http://www.deparisnet.be/chaleur/Normes/Malchaire_iso8996_metabolic_rate.pdf

NOGAREDA CUIXART S., BESTRATÉN BELLOVÍ M.

El descanso en el trabajo (I): pausas

Notas Técnicas de Prevención: NTP 916

Madrid INSHT

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/NTP/NTP/Ficheros/891a925/916w.pdf>