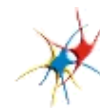


NTP 323: Determinación del metabolismo energético



Determination du métabolisme énergétique
Determination of metabolic rate

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.

Redactores:

Silvia Nogareda Cuixart
Lda. en Medicina y Cirugía
Especialista en Medicina de Empresa

Pablo Luna Mendaza
Ldo. en Ciencias Químicas

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 ISO 8996. Esta norma 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.

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 M = 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 de 1,8 m²).

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.

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

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.	Riesgo elevado de errores	Estudio necesario de los tiempos
	B. Utilización de tablas de estimación por actividad tipo	Precisión: $\pm 15\%$	
	C. Utilización de la frecuencia cardíaca en condiciones determinadas		No necesario
III	Medida		Riesgo de errores en los límites de precisión de la medida y del estudio de los tiempos. Precisión: $\pm 5\%$

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 nuestra 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, en nuestro caso, 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.

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.

Tabla 2: Clasificación del metabolismo por tipo de actividad

CLASE	W/m ²
Reposo	65
Metabolismo ligero	100
Metabolismo moderado	165
Metabolismo elevado	230
Metabolismo muy elevado	290

Ejemplos

Metabolismo ligero

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).

Metabolismo moderado

Trabajo mantenido de manos y brazos (claveteado, llenado); 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, escarda, bina, recolección de frutos o de legumbres); empuje o tracción de carretas ligeras o de carretillas; marcha a una velocidad de 3,5 a 5,5 km/hora; forjado.

Metabolismo elevado

Trabajo intenso con brazos y tronco; transporte de materiales pesados; trabajos de cava; 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 carretas o de carretillas muy cargadas, levantar las virutas de piezas moldeadas, colocación de bloques de hormigón.

Metabolismo muy elevado

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.

EJEMPLO 1

Estimación del consumo metabólico medio aproximado del trabajo típico de oficina.

A través de la tabla 2 y teniendo en cuenta las actividades que suelen realizarse en una oficina, se obtiene el valor del consumo metabólico medio:

$M = 100 \text{ w/m}^2$, clasificable como metabolismo ligero.

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, 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.

EJEMPLO 2

Estimación del consumo metabólico de un soldador.

Mediante la (tabla 3) se obtiene:

$M = 75 \div 125 \text{ w/m}^2$ (comparar con ejemplo 5)

Tabla 3: Clasificación del metabolismo según la profesión

Profesión	Metabolismo W/m ²	Profesión	Metabolismo W/m ²	Profesión	Metabolismo W/m ²
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 vagones	70 a 85	Tomero	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

tronzado por dos operarios	205	TRABAJOS DOMÉSTICOS	
corte transversal		hacer la limpieza	100 a 200
tronzado por un operario	205	cocinar	80 a 135
tronzado por dos operarios	190	fregar platos, de pie	145
descortezado		lavar a mano y planchar	120 a 220
valor medio en verano	225	afeitarse, lavarse y vestirse	100

EJEMPLO 3

Estimación del consumo metabólico de un albañil que construye un tabique colocando ladrillos huecos de 4,2 Kg de peso.

A través de la tabla 4:

$$M = 140 \text{ w/m}^2$$

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/ 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).

Tabla 5: Metabolismo basal en función de la edad y sexo

VARONES		MUJERES	
Años de edad	Wattios/m ²	Años de edad	Wattios/m ²
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

15-19	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		

- **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.

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

Posición del cuerpo	Metabolismo (W/m ²)
Sentado	10
Arrodillado	20
Agachado	20
De pie	25
De pie inclinado	30

- **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).

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

Tipo de trabajo	Metabolismo (W/m ²)	
	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

- **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.

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

Tipo de trabajo	Metabolismo (W/m ²) / (m/s)
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

Subir una escalera de mano vertical	
sin carga	2030
con carga de 10 kg.	2335
con carga de 50 kg.	4750

El ejemplo 3 estimaba entre 75 y 125 w/ m² el consumo metabólico de un soldador. Los datos de la tabla 3 no permiten conocer qué tipo de soldadura es ni el desglose en tareas, por lo que ese tipo de tablas sólo debería emplearse como aproximación. Por otra parte, hay que tener en cuenta que los valores de la tabla 3, aunque no tienen en cuenta períodos de descanso (p.e. desayuno), consideran el trabajo global de una determinada profesión. Así, en el caso del soldador los datos aportados son valores medios, teniendo en cuenta por ejemplo la preparación de las piezas antes de soldar, lo que hace que el consumo metabólico sea menor que si se calcula solamente para la tarea concreta de soldar, como se ha hecho en el ejemplo 5, cuya sistemática permite una mayor precisión.

EJEMPLO 4

Cálculo del consumo metabólico de un individuo (varón) de 37 años de edad, que realiza un trabajo de limpieza del pavimento de una nave de producción, manejando con ambos brazos una barredora-aspiradora industrial automotora que recorre 20 metros en 30 segundos.

Metabolismo basal (tabla 5)	45 w/m ²
Componente postural (ver tablas)	0 w/m ²
Componente del tipo de trabajo (tabla 7)	
moderado con dos brazos	85 w/m ²
Componente de desplazamiento (tabla 8)	
caminar despacio (110 w/m ² /m/s)	
velocidad = 20 m / 30 s = 0,666 m/s	73 w/m ²
0,666 m/ s x 110 w / m ²	203 w/m ²

Ejemplo 5

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.

Metabolismo basal (tabla 5)	47 w/m ²
Componente postural (tabla 6)	30 w/m ²
Componente del tipo de trabajo (tabla 7)	55 w/m ²
Componente de desplazamiento	0 w/m ²
Consumo metabólico global M	132 w/m ²

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:

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

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

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.

Ejemplo 6

EJEMPLO 6

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	Tiempo de duración (minutos)
Arrastrar sacos de 20 Kg (moderado con el cuerpo)	3
Alimentación de reactores (moderado con dos brazos)	10
Esperar de pie frente a controles	15
Caminar por la planta (0,8 m / s)	15
Subir escaleras (8 metros de altura en 20 segundos)	2
Bajar escaleras (8 metros de altura en 10 segundos)	1
Duración total del ciclo	46

El consumo metabólico de las diferentes componentes del ciclo será, consultando las tablas 6, 7 y 8:	Consumo metabólico (w/m ²)
Arrastrar sacos de 20 Kg	190
Alimentación de reactores, etc.	85
Esperar de pie frente a controles.	25
Caminar por la planta. 110 (w/m ² /m/s) x 0,8 (m/s)	88
Subir escaleras. 1725 (w/ m ² /m/s) x 8/20 (m/s)	690
Bajar escaleras. 480 (w/ m ² /m/s) x 8/10 (m/s)	384

Aplicando la expresión (I) :

$$\sum_{i=1}^n M_i \times t_i = 190 \times 3 + 85 \times 10 + 25 \times 15 + 88 \times 15 + 690 \times 2 + 384 \times 1 = 4495 \text{ w/m}^2 \times \text{min.}$$

Siendo el tiempo total T = 46 min. y el metabolismo basal 43 w/m² (Metabolismo basal en función de la edad y sexo <tabla 5), tendremos:

$$M = (4495/46) \text{ w/m}^2 + 43 \text{ w/m}^2$$

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 (a) consumo de oxígeno y el de la frecuencia cardíaca (b).

- 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.
- Así mismo se puede hacer una estimación del metabolismo por medición indirecta, mediante la frecuencia cardíaca. 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 cardíaca y comparándola posteriormente con unos valores de referencia; 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.

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

A PARTIR DEL CCA Coste absoluto del puesto de trabajo		A PARTIR DEL CCR 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 10: Tabla de los coeficientes de penosidad según los criterios de FRIMAT

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	

En ambos casos se necesitan conocer los siguientes parámetros:

- Frecuencia cardíaca basal o de reposo (FCB)
- Frecuencia cardíaca media (FCM)
- Frecuencia cardíaca máxima teórica (FCMax.t)

$$FC \text{ Max.t} = 220 - \text{edad (en años)}$$

- Costo cardíaco absoluto (CCA)

$$CGA = FCM - FCB$$

- Costo cardíaco relativo (CCR)

$$CCR = (CCA/FCMax.t - FCB)$$

- Aceleración de la frecuencia cardíaca (DFC)

$$\delta FC = FC_{Max.t} - FCM$$

EJEMPLO 7

Estimación del consumo metabólico de cuatro trabajadores mediante la medición de frecuencia cardíaca.

	T1	coef.	T2	coef.	T3	coef.	T4	coef.
FCB	80		68		76		75	
FCM	114	6	94	1	96	2	103	4
ΔFC	22	1	42	6	24	1	27	2
FCMMax.T	136	4	134	4	123	2	129	2
CCA	32	6	25	5	21	4	28	6
CCR	28%	6	26%	5	21%	4	28%	6
Total		23		21		13		20
Frimat	Duro		Penoso		Muy ligero		Penoso	

Siguiendo los criterios de Chamoux el puesto de trabajo tendría la consideración de muy moderado/moderado (CCA entre 21 y 32) y el coste individual sería moderado (CCR entre 21% y 28%).

Bibliografía

(1) ISO 8996

Ergonomics - Determination of metabolic heat production
1990

(2) SPITZER, H. y HETTINGER, TH.

Tables donnant la dépense énergétique en calories pour le travail physique
B. T. E. 1966

(3) SCHERRIER, J. et al.

Physiologie du travail (Tomo 1)
Masson, París, 1967

(4) FRIMAT, P. y DELEPINE, P.

Utilisation d'une grille d'évaluation de l'astreinte cardiaque
Revue de médecine du travail, tomo XV, nº4, 1988

(5) FRIMAT, P., AMPHOUX, M., CHAMOUX, A.

Interprétation et mesure de la fréquence cardiaque
Revue de Médecine du Travail XV (4), 147, 165, 1988