

MEDICION DE ENERGIA, TRABAJO Y POTENCIA, Y ESTIMACION DEL GASTO ENERGETICO

Prof. Edgar Lopategui Corsino
M.A., Fisiología del Ejercicio

I. CONSIDERACIONES PRELIMINARES

A. Introducción

Toda persona envuelta en el campo de la educación física y ciencias del ejercicio (o salud deportiva), particularmente la fisiología del ejercicio aplicada/clínica, el entrenamiento físico/deportivo, el diseño/estructuración de programas de ejercicio, y en la administración de pruebas ergométricas de esfuerzo/ejercicio progresivo, debe poseer las destrezas y el conocimiento para poder estimar el gasto/costo energético y la potencia producida durante el ejercicio/entrenamiento, deporte recreativo/competitivo, o actividades físicas cotidianas. La práctica del deporte y ejercicio o actividad física requiere el uso de energía. Para poder determinar cuantas calorías necesita un individuo, de manera que pueda reducir una cantidad dada de grasa/peso, requiere conocer el gasto/costo energético durante el ejercicio/deporte ha ser practicado o bajo el cual se entrena. Esto se consigue por medio de su estimación a base de la potencia que genera o mediante su medición en el laboratorio utilizando calorimetría indirecta (comunmente mediante espirometría en circuito abierto). Para poder prescribir ejercicio utilizando algún ergómetro (cicloergómetro [bicicleta estacionaria], banda sinfín, banco/escalón, entre otros) es necesario estimar el gasto/costo energético a niveles submáximo y/o máximos en estos aparatos. Más aún, se pueden realizar pruebas de campo que estimen el gasto/costo energético, de manera que se pueda utilizar en la planificación de un programa de ejercicio individualizado. En esta sección discutiremos las diversas formas de medir, trabajo, potencia y el gasto energético, y los principios fisiológicos de los procedimientos ergométricos requeridos para la prescripción de ejercicio y periodización del entrenamiento de un atleta a nivel recreativo y/o competitivo.

B. Definiciones

1. *Bioenergética:*

El estudio de los procesos envueltos en la extracción y transferencia de energía química.

2. *Metabolismo:*

La suma/conjunto de todos los cambios/reacciones físicas y químicas de los nutrimentos/sustratos (carbohidratos, grasas y proteínas) absorbidos en el aparato gastrointestinal que tienen lugar en las células de los organismos, mediante el cual ocurre la oxidación de dichas sustancias alimenticias con el fin de proveer energía para el mantenimiento de la vida.

3. *Metabolismo aeróbico:*

Aquella vía metabólica que cataboliza las sustancias nutritivas (carbohidratos, grasas y proteínas) en la presencia de oxígeno (aeróbico) mediante la glucólisis aeróbica, ciclo de Krebs y sistema de transporte electrónico (o cadena respiratoria), de manera que se suministre energía útil para las funciones vitales del cuerpo (principalmente para la contracción de las células/fibras musculares durante el ejercicio), sin la acumulación en altos niveles de ácido láctico.

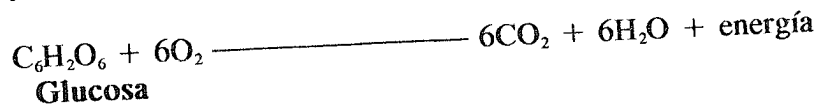
4. *Oxidación:*

a. El proceso de una sustancia combinándose con oxígeno molecular.

b. Una reacción química en la cual los electrones (-e) o iones de hidrógeno (H⁺) de un compuesto (el agente reductor) son transferidos a otro compuesto (el agente oxidante), donde el oxígeno (O₂) se combina con el hidrógeno (H) para formar agua (H₂O) al final del proceso.

c. Ejemplo:

1) Reacción óxido-reducción completa de la glucosa hasta bióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O):



5. *Respiración:*

a. Los procesos físicos y químicos a través del cual un organismo adquiere oxígeno (O₂) y libera bióxido de carbono (CO₂).

b. Respiración celular/interna:

1) Fase del metabolismo en la cual ocurren una serie de reacciones químicas que efectúa la célula viva a partir de materias alimenticias (nutrientes o sustratos) con el fin de producir/liberar energía química útil para ser utilizada en último término en diversas actividades/funciones celulares vitales.

2) La combinación de oxígeno con diferentes sustancias dentro de las células, resultando en la formación de bióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O).

3) Un proceso que genera ATP en el cual un compuesto inorgánico (tal como el oxígeno) sirve en último término como el electrón aceptor, donde el electrón donador puede ser un compuesto inorgánico o uno orgánico.

6. *Oxígeno:*

Un elemento no metálico que ocurre libremente en la atmósfera como un gas incoloro, inodoro y sin sabor, el cual es necesario para la respiración y oxidación/combustión.

7. *Consumo de oxígeno (VO₂):*

a. La proporción a la cual el oxígeno es utilizado por las mitocondrias (metabolismo aeróbico) de todas las células del cuerpo durante el reposo o durante un nivel específico de actividad física/ejercicio, en función respiratoria interna/celular.

b. La cantidad de oxígeno (en litros o mililitros) extraído del aire/gas ambiental inspirado durante un período de tiempo (usualmente en un minuto), en condiciones estandarizadas (STPD) de los volúmenes del aire/gas inspirado.

c. Normalmente se expresa en términos:

1) Absoluto:

a) Litros (L) de oxígeno consumido por minuto:

VO_2 , L/min

2) Relativo:

a) Mililitros (ml) de oxígeno consumido por kilogramo del peso corporal por minuto:

VO_2 , ml/kgmin

8. *STPD:*

a. Un volumen de gas en condiciones estándar de temperatura y presión, libre de vapor de agua (seco).

b. Las condiciones estandarizadas son:

1) Standard Temperature (Temperatura Estándar):

273 °K ó 0 °C

2) Standard Pressure (Presión Estándar):

760 mm Hg, es decir, a una atmósfera "estándar".

3) Dry (seco):

0% de humedad relativa, es decir, en ausencia de vapor de agua.

9. *Mitocondria:*

Estructura/organelos microscópicos compartimentalizados, rodeados de doble membrana localizados dentro del citoplasma de las células (sarcoplasma en la fibra muscular), las cuales contienen enzimas responsables para la formación de energía útil mediante la síntesis de ATP (adenosina de trifosfato) por mecanismo aeróbico, y están envueltas en la síntesis de proteína y el metabolismo de los lípidos (grasas).

10. *Costo calórico/energético:*

El número de calorías utilizadas por una tarea específica, normalmente informado en calorías, kcal/min ó METS.

11. *Costo de oxígeno:*

La cantidad de oxígeno utilizado por los tejidos del cuerpo durante una actividad.

12. *Costo aeróbico total del trabajo/ejercicio:*

a. La cantidad de oxígeno (o kilocalorías o el equivalente en kilogramos-metro) requerido durante el trabajo/ejercicio y la recuperación.

b. Ecuación/fórmula:

$$\text{Costo Total} = \text{VO}_2 \text{ Ejercicio (litros)} + \text{VO}_2 \text{ Recuperación (litros)}$$

13. *Costo aeróbico neto del trabajo/ejercicio:*

a. Costo total del trabajo/ejercicio menos el consumo de oxígeno en reposo durante un período de tiempo equivalente.

b. Ecuación/fórmula:

$$\text{Costo Neto} = \text{VO}_2 \text{ Ejercicio (litros)} - (\text{VO}_2 \text{ Reposo [L/min]}) \\ \times \text{Minutos de Ejercicio y Recuperación}$$

14. *Atracción o fuerza gravitatoria (o de gravedad):*

a. La atracción (o halón) que ejerce el centro de la superficie del planeta tierra sobre los cuerpos (o de sus segmentos) u objetos dentro de su campo de poder.

- b. Aquella fuerza que causa o tiende a provocar un cambio en el movimiento o configuración de un cuerpo u objeto.

15. **Masa:**

- a. La cantidad de materia que contiene un cuerpo.
- b. Una medida de la resistencia del cuerpo al cambio de su estado de movimiento.
- c. Una medida de la inercia o resistencia de un cuerpo/objeto a la fuerza.
- d. La masa de un cuerpo u objeto no cambia con la variación de la fuerza gravitatoria.

16. **Peso:**

- a. El resultado o medida de la fuerza/atracción gravitatoria que el campo gravitatorio del centro de la superficie del planeta tierra ejerce sobre la masa de un cuerpo u objeto.
- b. Una masa experimentando aceleración gravitatoria.
- c. El peso es una fuerza.
- d. El peso de un cuerpo u objeto varía/cambia según su localización:

Esto implica que cuanto más distanciado se encuentre este cuerpo del centro de la tierra, más pequeño será su peso (ya que posee menos atracción gravitatoria), y viceversa.

17. **Fuerza:**

- a. Aquello que empuja o hala/tira un cuerpo por medio del contacto mecánico o a través de la fuerza/atracción gravitatoria, lo cual causa un cambio en el estado de reposo o movimiento de dicho cuerpo u objeto o altera su configuración.
- b. Cualquier acción que produce movimiento o aceleración o posee la capacidad para hacerlo.
- c. Es una masa acelerando ($F = m \times a$, donde m = masa y a = aceleración gravitatoria).

18. **Trabajo Físico:**

Trabajo mecánico externo calculado mediante la medición de fuerza y desplazamiento (o distancia).

19. *Esfuerzo fisiológico:*

La reacción del individuo durante la actividad física, en términos de funciones internas, tales como metabolismo, respiración y circulación.

20. *Carga:*

- a. La carga colocada sobre el trabajador (o el que se ejercita).
- b. El ritmo al cual se realiza el trabajo/ejercicio en cualquier momento.

21. *Capacidad:*

- a. Facultad.
- b. Producción a máxima potencia.

22. *Capacidad de esfuerzo:*

La capacidad física y psíquica del individuo para alcanzar un esfuerzo máximo individual (esfuerzo límite/pico bajo condiciones normales), el cual puede ser considerablemente afectado por las condiciones ambientales.

23. *Prueba funcional ergométrica:*

Determinación de parámetros del rendimiento cardiopulmonar.

24. *Carga de trabajo ergométrica:*

El producto de las magnitudes *Fuerza* y *Distancia* por unidad de tiempo que indica el ergómetro durante la prueba.

25. *Caloría (cal):*

- a. Unidad de medida para la energía consumida (de los alimentos) y la gastada (del metabolismo en reposo y de las actividades físicas).
- b. Una (1) caloría equivale a la cantidad de calor requerido para elevar la temperatura de un (1) gramo (g) de agua a un (1) grado centígrado (desde 14.5 °C hasta 15.5 °C) bajo una presión atmosférica normal (760 milímetros de mercurio; 760 torr; 101,325 pascales ó 1 atmósfera).

c. Sinónimos:

1) caloría gramo.

2) caloría pequeña:

Se escribe con una c minúscula (cal).

26. **Kilocaloría (kcal ó Cal):**

a. La unidad de medida que se utiliza con mayor frecuencia para describir/expresar el contenido/valor energético de los alimentos (energía ingerida) y los requerimientos energéticos de diversas actividades físicas (energía gastada).

b. Una (1) kilocaloría (kcal ó Cal) equivale a la cantidad de calor que se necesita para cambiar/elevar la temperatura de un (1) kilogramo (kg) de agua a un (1) grado centígrado (o Celsius), de 14.5°C a 15.5°C , bajo una presión barométrica normal de 760 milímetros de mercurio (mm Hg) o una (1) atmósfera (atm).

c. Mil calorías ($1 \text{ kcal} = 1,000 \text{ cal}$).

d. Sinónimos:

1) Caloría kilogramo.

2) Caloría grande:

Siempre se escribe con una C mayúscula (Cal).

27. **Joule ó Julio (J):**

a. Unidad de medida para expresar:

1) Valor energético.

2) Trabajo.

b. Un (1) Joule equivale a la energía consumida/liberada al efectuar trabajo, i.e., cuando el punto de aplicación de una fuerza de un (1) Newton (kg/m/seg^2) desplaza/mueve un (1) kilogramo (kg) a una distancia de un (1) metro (m) en el mismo sentido y dirección de la fuerza.

28. **Kilojoule (kJ):**

- a. Unidad de medida de energía y trabajo.
- b. Mil (1,000) joules (o julios).

29. **Cadencia de trabajo ("work rate") o carga/potencia ergométrica (kgm/min ó kpm/min):**

El producto de fuerza y distancia (F X D) en kilogramos-metros o en kilopondios-metros dividido por la unidad de tiempo (t) en minutos:

$$\text{Cadencia de Trabajo} = \frac{\text{F X D (kgm ó kpm)}}{\text{t (min)}}$$

30. **Espirometría:**

Medición de la capacidad de aire de los pulmones.

31. **Espirómetro:**

Aparato para medir volúmenes de aire espirado.

32. **Calorimetría:**

Método utilizado para medir el metabolismo/tasa metabólica o consumo energético (en calorías, kilocalorías o julios) de un individuo en estado de reposo o en actividad física mediante el cálculo directo de la cantidad de calor producido/liberado por los procesos metabólicos/respiración celular (calorimetría directa) o a través de la medición indirecta del intercambio respiratorio de los gases, i.e., la determinación del consumo de oxígeno y el bióxido de carbono producido (utilizando los diversos aparatos respiratorios o espirómetros) que resulta de la oxidación/combustión de las sustancias nutritivas o alimentos (calorimetría indirecta).

33. **Calorímetro:**

Instrumento/artefacto utilizado para medir la cantidad de calor liberado por un individuo.

34. **Bomba calorímetro:**

Aparato que sirve para medir el contenido energético en los alimentos.

35. *Calorímetro respiratorio:*

Cámara (con sus paredes provistas de aisladores para evitar la pérdida de calor) bastante grande en capacidad para albergar una persona, permitiéndole llevar a cabo las actividades/ejercicio bajo estudio, con el fin de determinar el calor producido del intercambio respiratorio que demanda dicha actividad o ejercicio que realiza la persona.

36. *"Atwater-Rosa Human Calorimeter":*

Tipo de calorímetro respiratorio en la cual un individuo puede residir durante un período prolongado de tiempo con el fin de medir la producción total del calor corporal.

37. *"Benedict-Roth Calorimeter":*

Artefacto/aparato utilizado en la estimación de la tasa metabólica basal mediante la medición de la cantidad de oxígeno utilizado durante la respiración normal/en reposo de un individuo.

38. *Gas espirado:*

El aire que es exhalado de los pulmones que comunmente se analiza para determinar los cambios en oxígeno y bióxido de carbono del aire inspirado.

39. *Calorimetría directa:*

Medición real del consumo energético al medir directamente la producción de calor que libera un individuo.

40. *Calorimetría indirecta:*

- a. Cálculo indirecto de la cantidad de energía liberada por el cuerpo mediante el consumo de oxígeno (VO_2) y el bióxido de carbono producido (VCO_2).
- b. Se fundamenta en que una cantidad dada de oxígeno siempre representa una cantidad dada de calor ($1 \text{ L } O_2 \approx 5 \text{ kcal}$).

II. TRABAJO

A. Concepto

1. El producto de la fuerza por la distancia a la cual se aplica.

2. Aplicación de una fuerza a lo largo de una distancia.

B. Fórmula/Ecuación

$T = F \times d$, donde:

T = Trabajo mecánico.

F = Fuerza (aquella masa de un cuerpo experimentando una aceleración normal de gravedad [9.807 m/seg² ó 32 pies/seg²]).

d = Distancia a través de la cual se ha desplazado la fuerza.

C. Cálculo de Trabajo

► **Problema:**

Determinar el trabajo mecánico realizado al levantar un eso de 5 kilogramos (kg) 2 metros (m) de altura.

► **Dado:**

F = Peso (masa) levantada: 5 kilogramos (kg).

d = Distancia vertical recorrida: 2 metros (m).

► **Conocido:**

$$T = F \times d$$

► **Solucion:**

$$T = F \times d$$

$$= 5 \text{ kp} \times 2 \text{ m}$$

$$= 10 \text{ kpm}$$

$$\therefore \boxed{T = 10 \text{ kpm}}$$

D. Unidades de Medida

1. Unidades de masa/peso:

a. kilogramo (kg):

Unidad de medida del sistema métrico que determina la cantidad de masa en un cuerpo u objeto.

b. Libra (lb):

Unidad de medida del Sistema Anglozajón que determina la cantidad de masa en un cuerpo u objeto.

c. Equivalencias Métricas e Inglesas:

$$1 \text{ kg} = 1,000 \text{ gramos (g)} = 1,000,000 \text{ miligramos (mg)} \\ = 35.3 \text{ onzas (oz)} = 2.2046 \text{ libras (lb)}$$

$$1 \text{ lb} = 16.0 \text{ oz} = 454 \text{ g} = 0.453 \text{ kg}$$

$$1 \text{ g} = 0.0353 \text{ oz} = 0.0022 \text{ lb} = 0.001 \text{ kg} = 1.000 \text{ mg}$$

2. Unidades de fuerza:

a. Pondio (p):

Aquella fuerza que le imparte una aceleración gravitatoria estándar/normal (9.807 m/seg^2 ó 32 pies/seg^2) a la masa de un (1) gramo (g).

b. Kilopondio (kp):

1) Aquella fuerza que le imparte una aceleración gravitatoria normal/estándar (9.807 m/seg^2 ó 32 pies/seg^2) a la masa de un (1) kilogramo (kg).

2) La fuerza que ejerce la gravedad sobre la masa de un (1) kilogramo (kg) a una aceleración normal de gravedad (9.807 m/seg^2 ó 32 pies/seg^2).

c. Newton (N):

Aquella fuerza que le imprime una aceleración de un (1) metro (m) por segundo por segundo (1 m/seg^2) al cuerpo u objeto de una masa de un (1) kilogramo (kg), en dirección a la acción de la fuerza.

d. Equivalencias:

$$1 \text{ p} = 9.80665 \times 10^3 \text{ N}$$

$$1 \text{ kp} = 9.80665 \text{ N}$$

$$1 \text{ N} = 0.2248 \text{ lb} = 1 \text{ kgm/seg}^2$$

3. Unidades de trabajo:

a. Kilopondio-metro (kpm):

- 1) Trabajo (T), el cual es el producto de una fuerza (F) que actúa contra la *masa* de 1,000 gramos (1 kg) a través de una distancia (d), medida en metros (m).
- 2) El trabajo (T) realizado cuando una fuerza (masa) constante de un (1) kilogramo (1,000 gramos) actúa sobre un cuerpo u objeto que se mueve verticalmente a una distancia de un (1) metro (m), en la misma dirección que la fuerza.
- 3) Una *masa* de un (1) kilogramo (kg) es elevada un (1) metro (m) contra la fuerza de gravedad.
- 4) Distancia a través de la cual 1 kg se mueve 1 metro.

b. Pies-libras (pie-lb):

El trabajo (T) realizado cuando el punto de aplicación de una fuerza de una (1) libra (lb) se mueve a través de una distancia (d) de un (1) pie, en la misma dirección de la fuerza.

c. Joule ó Julio (J):

La energía consumida/liberada cuando el punto de aplicación de una fuerza de un (1) Newton (kg/m/seg²) desplaza/mueve un (1) kilogramo a una distancia de un (1) metro (m), en el mismo sentido y dirección de la fuerza.

d. Equivalencias métricas e inglesas:

$$1 \text{ kpm} = 7.2307 \text{ pies-lb} = 9.80665 \text{ J} = 10 \text{ Nm}$$

$$1 \text{ pie-lb} = 0.13825 \text{ kgm} = 1.356 \text{ J} = 1.3560 \text{ Nm}$$

$$1 \text{ Newton-metro (Nm)} = 0.1020 \text{ kgm} = 0.7375 \text{ pie-lb} = 1 \text{ J}$$

III. POTENCIA

A. Concepto

La cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo.

B. Importancia/Utilidad

1. Determina la cadencia de trabajo o carga/potencia ergométrica realizado en un ergómetro particular durante pruebas de ejercicio o sesiones de entrenamiento efectuados en el ergómetro, lo cual:
 - a. Ayuda a calcular la intensidad bajo la cual un individuo debe ejercitarse.
 - b. Puede estimar la energía gastada y/o consumo de oxígeno.

C. Fórmula/Ecuación

$$P = T \div t \text{ ó } \frac{F \times d}{t}, \text{ donde:}$$

P = Potencia.

T = Trabajo mecánico realizado.

t = Unidad de tiempo.

D. Cálculo de Potencia

► Problema:

Calcular la potencia producida de un atleta que trabaja a 2,000 kpm durante un período de 60 segundos (seg).

► Dado:

T = Trabajo total rendido por el atleta: 2,000 kpm.

t = Tiempo tomado por el atleta: 60 seg.

► Conocido:

$$P = \frac{T}{t}$$

► Solucion:

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{T}{t} \\
 &= \frac{2,000 \text{ kpm}}{60 \text{ seg}} \\
 &= 33.33 \text{ kpm/seg}
 \end{aligned}$$

$$\therefore \boxed{P = 33.33 \text{ kpm/seg} \quad 10 \text{ kpm}}$$

E. Unidades de Medida

1. Unidades de potencia:

a. Kilopondio-metro por minuto (kpm/min):

- 1) La fuerza (F) requerida para mover una resistencia, *peso* o *masa* de 1 kg a través de una distancia (d) de un (1) minuto.
- 2) Se utiliza para describir la cadencia de trabajo (potencia producida) en un cicloergómetro mecánico.

b. Pies-libras por minuto (pie-lb/min):

Potencia (P) producida cuando el punto la fuerza (F) constante de una (1) libra actúa sobre un cuerpo u objeto que se mueve verticalmenmte a lo largo de una distancia (d) de un (1) pie en un (1) minuto (min).

c. Vatio o Watt (W):

- 1) Es la potencia (P) producida por el paso de un (1) amperio de corriente que circula con una fuerza o presión electromotriz de un (1) voltio.
- 2) El trabajo realizado durante un (1) segundo capaz de producir/emitir la energfa de un (1) Julio (J).
- 3) Es la medida que describe la potencia eléctrica producida en un cicloergómetro electromecánico.

d. Caballo de fuerza (CF), caballo de vapor (CV) o "horse power" (hp):

- 1) Aquel trabajo capaz de levantar/desplazar verticalmente un *peso* o *masa* de 75 kilogramos a la altura/distancia de un (1) metro (m) en el tiempo de un (1) segundo (seg).
- 2) Es utilizado como una unidad de potencia mecánica.

e. Equivalencias métricas e inglesas:

$$1 \text{ kpm/min} = 7.2307 \text{ pies-lb/in} = 0.16345 \text{ W} = 0.000219 \text{ hp}$$

$$1 \text{ kpm/seg} = 9.81 \text{ W}$$

$$1 \text{ pie-lb/min} = 0.13825 \text{ kgm/min} = 0.0226 \text{ W} = 0.00003 \text{ hp}$$

$$1 \text{ pie-lb/seg} = 1.3559 \text{ W}$$

$$1 \text{ W} = 6.118 \text{ kgm/min} = 44.236 \text{ pies-lb/min} = 0.001341 \text{ hp}$$

$$1 \text{ hp} = 4,464.0 \text{ kgm/min} = 33,000.0 \text{ pies-lb/min} = 746.0 \text{ W}$$

$$1 \text{ hp} = 75 \text{ kpm/seg}$$

IV. ENERGIA

A. Concepto

La capacidad para hacer trabajo.

B. Tipos de Energía

1. Energía potencial:

Energía almacenada.

2. Energía cinética:

Energía envuelta en la producción de trabajo.

C. Ley de la Conservación de Energía

La energía no se crea ni se destruye, solamente se transforma.

D. Formas de Energía

1. Mecánica.
2. Calórica.
3. Solar.
4. Química.
5. Nuclear.

E. Unidades de Energía

1. Caloría (cal) ó kilocaloría (kcal).
2. Joule (J) o kilojulios (kj).
3. Megajoule (MJ).

V. ERGOMETRIA

A. Concepto

1. Significado literal:

- a. Estudio de la medición del trabajo/esfuerzo.
- b. Del Griego:

"Ergo" = Obra, trabajo, esfuerzo/rendimiento.

2. Definición Formal:

Ciencia que estudia la medición del trabajo/potencia física y de los cambios/efectos fisiológicos/biológicos del esfuerzo/ejercicio que se producen al ejercitarse un individuo en algún tipo de ergómetro (calibrado en unidades de potencia, tales como: kpm/min ó vatios) y al utilizar simultáneamente instrumentos que miden variables fisiológicas (metabólicas, circulatorias y cardio-pulmonares) y el gasto energético durante un período específico de tiempo.

B. Importancia/Utilidad (Indicaciones)

1. Propósitos diagnósticos:

Diagnosticar o confirmar enfermedades y trastornos latentes/potenciales o evidentes/manifiestos en los sistemas cardíaco, circulatorio y/o pulmonar.

2. Propósitos evaluativos:

a. Evaluar la capacidad funcional o del esfuerzo de individuos con enfermedades cardio-pulmonares o en atletas, como base para:

- 1) Preparar una prescripción y programa de ejercicio rehabilitativo y preventivo.
- 2) Diseñar programas de entrenamiento para atletas.
- 3) Determinar la efectividad de un programa de entrenamiento al examinar los cambios fisiológicos crónicos.

3. Propósitos investigativos:

Estudiar/medir las respuestas/funcionales fisiológicas normales durante el esfuerzo físico ergométrico.

C. Tipos de Mediciones que se Registran

1. Trabajo/potencia mecánica.

2. Parámetros fisiológicos:

a. Cardiovasculares:

Frecuencia cardíaca (FC, latidos/min), electrocardiograma (EKG), presión arterial (PA, medida en: mm.Hg.), valores de presión intracardíaca y otras variables derivadas (gasto cardíaco [GC ó Q], medido en: L/min; volumen de eyección sistólica [VES ó Vs] medida en: ml/latidos, entre otra variables).

b. Pulmonares:

Frecuencia respiratoria (FR ó f), volumen minuto respiratorio o ventilación pulmonar (V_E , L/min), flujo respiratorio y otras variables derivadas (volumen de ventilación pulmonar [VVP] medida en L; ventilación alveolar [V_A], medida en L/min, entre otras).

c. Metabólicas:

Consumo de oxígeno (VO_2 , L/min), producción de bióxido de carbono (VCO_2 , L/min), la saturación de oxígeno en la sangre (PO_2 ; PCO_2 ; pH; Bicarbonato estándar, HCO_3^- , mmol/L, etc), temperatura y otras variables derivadas (cosciente respiratorio [CR]; nivel del umbral anaeróbico [Uan]; consumo de oxígeno máximo [$VO_{2máx}$]; gasto energético, entre otras).

d. Hematológicas/sanguíneas:

Lactato (La^- , mmol/L), fermentos de suero y otras.

e. Signos y síntomas de tolerancia al esfuerzo.

Dolor de pecho, confusión mental, mareos, cianosis, ataxia, entre otras.

f. Psicológicas:

Escala de Borg (percepción del esfuerzo [RPE]).

D. Equipos/Artefactos e Instrumentos de Medición Utilizados

1. Ergómetros:

a. Ergómetro utilizados en ambiente aire:

- 1) Cicloergómetros.
- 2) Banda sinfín.
- 3) Escalones/banco.
- 4) Ergómetro de esquí de campo traviesa.
- 5) Remo-ergómetro.
- 6) Ergómetros para brazos.
- 7) Bancos de natación (convencional y de natación simulada).

b. Ergómetros utilizados en ambiente agua:

- 1) Ergómetro de brida o natación estática.
 - 2) Canal de natación.
 - 3) Piscina ergómetro:
Natación libre.
2. Equipos/instrumentos para mediciones cardiovasculares:
- a. Frecuencia cardíaca:
 - 1) Electrocardiógrafo.
 - 2) Aparato de contador pulsaciones fotoeléctrico.
 - 3) Cardiotacómetro dinámico.
 - 4) Estetoscopio (auscultación).
 - 5) Palpación.
 - b. Presión arterial:
 - 1) Métodos indirectos/no invasivos auscultativos:
Esfigmomanómetro y estetoscopio.
 - 2) Métodos indirectos/no invasivos, no auscultatorios:
Esfigmomanómetro ultrasonido con sensor Doppler.
 - 3) Métodos directos/invasivos:
Manómetro de presión conectado a un cateter insertado, con voltage amplificado y registrado vía osciloscopio.
3. Equipos/instrumentos para mediciones pulmonares y metabólicas:
- a. Medición de volumen, cantidad del flujo de aire o ventilación (expirado o inspirado).

- 1) Gasómetros secos (medición del volumen de ventilación inspirada):
 - a) "Parkinson-Cowan Gasometer".
 - b) "Rayfield air flow meter".
 - c) "Vacumed air flow meter".
 - d) "Harvard/SRI dry gas meter".
 - 2) Gasómetros de campana metálica sellado con agua (medición del volumen de ventilación espirada):

"Collins chain-compensated tissot spirometer".
 - 3) Pneumotacógrafo (medición de volumen de ventilación espirada o inspirada mediante la integración de una señal que deriva/obtiene el flujo de aire ventilado):

"Fleisch pneumotacógrafo".
 - 4) Medidores/transductores del flujo/volumen de aire de turbina/aspa rotatoria:

"Jewel-mounted turbine flowmeter".
 - 5) Medidores ultrasónico del flujo de aire.
- b. Colección del aire/gas espirado (para su posterior análisis volumétrico [litros o mililitros de aire espirado] o químico [%CO₂ y %O₂]):
- 1) Globos/bolsas de hule metereológicas.
 - 2) Bolsas de gas no-difusorias ("vacummed, Inc").
 - 3) Bolsas/sacos de Douglas.
 - 4) Bolsas respiratorias de caucho (muestras de gas espirado para su análisis químico).
- c. Cámaras/cajas para la colección y mezcla del gas espirado (utilizadas para el análisis continuo de porcentaje de oxígeno y bióxido de carbono):

1) Ejemplo:

"Rayfield mixing/sampling chamber".

d. Análisis químico fraccionario (porcentaje) del gas espirado (%CO₂ y %O₂):

1) Métodos manuales (manométricos):

a) "Lloyd-Haldane Apparatus".

b) "Scholander Microanalyzer".

2) Métodos electroquímicos:

a) Analizadores de oxígeno:

▶ Analizador Paramagnético de oxígeno:

"Pauling type"

▶ Analizador polarográfico de oxígeno:

◆ Modelos:

OM-11 (Medical Gas, Beckman).

▶ Analizador con sensor de celda/pila electroquímica:

◆ Modelos:

S-3A (Applied Electrochemistry, AMETEK).

b) Analizadores de bióxido de carbono:

▶ Analizadores de radiación Infraroja:

◆ Modelos:

- LB-2 (Medical Gas, Beckman).

- CD-34(Applied Electrochemistry, AMETEK).

3) Espectrómetro de masa ("mass spectrometer").

e. Conductos (tubos flexibles de goma corrugados/en espiral):

Deben poseer un diámetro interno de 3 a 5 cm (de baja resistencia).

f. Válvulas respiratorias:

1) "Ruben Valve" (la más pequeña y con la resistencia más alta).

2) "Otis-McKerrow Valve" (de baja resistencia, pero con un alto volumen/espacio muerto, utilizado para pruebas de ejercicio máximas).

3) "Plastic flap valve (del tipo "Lloyd").

g. Conectores.

h. Llaves direccionales.

i. Boquillas.

j. Prensadores de nariz.

k. Sostén de cabeza (o cabestrillo).

4. Equipos/instrumentos para mediciones de los gases sanguíneos:

a. Métodos invasivos:

Cateter insertado en la arteria.

b. Métodos no-invasivos:

Oximetría del oído.

5. Otros Instrumentos de medición utilizados:

a. Relojes/cronómetros.

b. Metrónomo.

c. Computadoras.

d. Instrumentos para mediciones ambientales:

- 1) Barómetros (presión atmosférica).
 - 2) Indicadores de humedad.
 - 3) Termómetros.
- e. Analizador de Lactato:
- "YSI Lactate Analyzer" (YSI Scientific).
- f. Registros, papel de gráfico.
- E. Factores que Afectan/Determinan el Grado de Acción del Esfuerzo Biológico (i.e., la Respuesta Fisiológica) en la Prueba Ergométrica:
1. Factores protocolarios de la prueba ergométrica:
 - a. La rapidez con la cual se inicia la etapa del esfuerzo de la prueba.
 - b. El ajuste que se requiere para progresar en tiempo y carga de trabajo hacia la etapa inicial de la prueba donde comienza el esfuerzo biológico del sujeto.
 - c. Magnitud de la carga de trabajo aplicada en cada etapa/nivel de la prueba.
 - d. Duración de:
 - 1) Cada carga de trabajo para las etapas.
 - 2) La prueba ergométrica total.
 - e. La rapidez con la cual se detiene la prueba.
 2. Factores atmosféricos y climatológicos:
 - a. La temperatura del aire.
 - b. La humedad relativa.
 - c. La presión atmosférica/barométrica.
 3. Factores mecánicos y electrónicos (dependiendo del tipo de ergómetro) del ergómetro.

4. La eficiencia con la cual el sujeto realiza la prueba ergométrica:

La capacidad para ejecutar la prueba ergométrica con el menor gasto posible de energía.

5. Factores morfofuncionales/antropométricos del individuo.

6. Edad.

7. Sexo.

8. Nivel de aptitud/condición física y psíquica.

9. Estilo de vida o comportamiento/hábitos del sujeto:

a. Alimentación.

b. Nivel de entrenamiento.

c. Uso y abuso de sustancias nocivas a la salud.

d. Capacidad para controlar/adaptarse al estrés/tensiones.

e. Cantidad de horas de sueño (dormidas) y de recuperación después de una lesión de ejercicio/entrenamiento.

10. Factores biorítmicos:

a. La hora de la prueba.

b. La época del año en que se lleva a cabo la prueba ergométrica.

F. Ergómetros

1. Concepto:

a. Definición literal:

1) Instrumento que mide trabajo.

2) Del Griego:

"Ergo" = Trabajo

"metro" = Instrumento de medición

b. Definición formal:

Equipo/artefacto o mecanismo utilizado para medir y registrar la cantidad de un tipo de trabajo mecánico y potencia específica, al igual que las respuestas fisiológicas del ejercicio realizado por el ser humano o animal.

2. Tipos de ergómetros:

a. Ergómetros utilizados en ambiente aire:

- 1) Cicloergómetros (mecánico o electromecánicos).
- 2) Banda sinfín.
- 3) Escalones/banco.
- 4) Ergómetro de esquí de campo traviesa.
- 5) Remo-ergómetro.
- 6) Ergómetros de manivela para brazos.
- 7) Bancos de natación (convencional y de natación simulada).

b. Ergómetros utilizados en ambiente agua:

- 1) Ergómetro de brida o natación estática.
- 2) Canal de natación.
- 3) Piscina ergómetro:
 - a. Natación libre.
 - a. "Windsurfing".

VI BANDA SINFIN

A. Descripción de la Variables Requeridas para el Cálculo de Trabajo y Potencia

1. Inclinación de la banda sinfín:

a. Unidades:

1) "Porcentaje de grado (de elevación)":

a) Descripción:

La cantidad del levantamiento vertical por 100 unidades de viaje/recorrido de la correa de la banda sinfín:

b) Ejemplo:

10% grado - Viaja 100 metros de la Correa

c) Cálculo del porcentaje de grado/inclinación:

El seno del ángulo de la banda sinfín multiplicado por 100.

2. Desplazamiento vertical:

Desplazamiento vertical = % de grado X D

B. Medición de Trabajo

1. Concepto:

El trabajo realizado en la banda sinfín equivale a la masa (peso) de la persona (F) multiplicado por la distancia vertical (d) a través de la cual recorre la persona al caminar o correr una inclinación.

2. Fórmula/Ecuación:

a. Primera fórmula:

$T = F \times d$, donde:

T = Trabajo realizado en la banda sinfín.

F = Fuerza (masa corporal).

d = Distancia vertical (seno del ángulo Θ X distancia [A]; A = velocidad de la banda sinfín x tiempo).

b. Fórmula final:

$T = F \times d (\text{Seno } \Theta \times A)$

3. Cálculo de trabajo en la banda sinfín:

► **Problema:**

Determinar el trabajo realizado en la banda sinfín fijada a una elevación de 8° (aproximadamente 14% de elevación) mientras una persona que pesa 50 kg camina a 5000 m por hora durante una hora de ejercicio.

► **Dado:**

F = Peso (masa corporal) levantado = 50 kilogramos (kg).

Angulo Θ = 8° (14% de inclinación).

Seno del ángulo Θ = 0.1392 (según tabla de trigonometría [véase Tabla 1]).

Velocidad = 5000 m/hr

tiempo (t) = 1 hr = 60 min

A = 5000 m/hr x 1 hr = 5000 m

d = Distancia vertical recorrida = $0.1392 \times 5000 \text{ m} = 696 \text{ m}$

► **Conocido:**

$$T = F \times d \text{ (Seno } \Theta \times A)$$

► **Solucion:**

$$T = F \times d \text{ (Seno } \Theta \times A)$$

$$= 50 \text{ kg} \times 696 \text{ m}$$

$$= 34,800 \text{ kg-m}$$

$$\therefore \boxed{T = 34,800 \text{ kg-m}}$$

C. Medición de Potencia

1. Fórmula:

$$P = \frac{F \times d (\text{Seno } \Theta \times A)}{t}$$

2. Cálculo de potencia en la banda sinfín: siguiendo el el ejemplo anterior:

$$P = \frac{F \times d (\text{Seno } \Theta \times A)}{t}$$

$$= \frac{50 \text{ kg} \times 696 \text{ m}}{60 \text{ min}}$$

$$= \frac{34,800 \text{ kg-m}}{60 \text{ min}}$$

$$\therefore \boxed{P = 580 \text{ kg-m/min}}$$

Tabla 1

Funciones Trigonómicas y Determinación

θ (GRADOS)	SENO θ	TANGENTE θ	PORCIENTO DE INCLINACION
1	0.0175	0.0175	1.75
2	0.0349	0.0349	3.49
3	0.0523	0.0523	5.23
4	0.0698	0.0698	6.98
5	0.0872	0.0872	8.72
6	0.1045	0.1051	10.51
7	0.1219	0.1228	12.28
8	0.1392	0.1405	14.05
9	0.1564	0.1584	15.84
10	0.1736	0.1763	17.63
11	0.1908	0.1944	19.44
12	0.2079	0.2126	21.26
13	0.2250	0.2309	23.09
14	0.2419	0.2493	24.93
15	0.2588	0.2680	26.80
16	0.2756	0.2867	28.67
17	0.2924	0.3057	30.57
18	0.3090	0.3249	32.49
19	0.3256	0.3443	34.43
20	0.3420	0.3640	36.40

VII. CICLOERGOMETROS

A. Consideraciones Preliminares

1. Pruebas ergométricas utilizando cicloergómetros:

a. Requisitos:

- 1) Una lectura de potencia constante.
- 2) El manubrio, sillín, largo del pedal deben ser ajustables.
- 3) La potencia debe ser relativamente independiente de la frecuencia de pedaleo.

B. Cicloergómetros Mecánicos (de Manivela para las Piernas)

1. Concepto:

Un ergómetro de bicicleta compuesto de una rueda cíclica fija y una rueda ajustable utilizado para medir trabajo y potencia y para conocer las respuestas fisiológicas del ejercicio y la capacidad funcional de la persona, así como un vehículo de entrenamiento.

2. Medición de trabajo:

a. Fórmulas:

Trabajo (kpm) = Resistencia X $(2\pi r/\text{rev})$, donde

$2\pi r$ = Circunferencia del Aro de la Rueda (la distancia que viaja cualquier punto en el aro de la rueda en una revolución)

rev = El número de revoluciones durante el período de trabajo.

3. "Monark-Crescent AB":

a. Medición de trabajo (cálculo de la carga de trabajo [kpm]):

1) Fórmulas/ecuaciones:

Trabajo (kpm) = Resistencia (kp [lectura del péndulo])
X Circunferencia del Aro de la Rueda (6 m)

ó

T (kpm) = [kp (lectura del péndulo)] X (6m)

b. Medición de potencia:

1) Fórmulas:

a) Fórmula general (potencia en un tiempo dado):

$$\text{Potencia (kpm/unidad de tiempo)} = \text{Resistencia (kp)} \times \text{Revoluciones/Unidad de Tiempo} \\ \times \text{Circunferencia del Aro de la Rueda (6 m)/Revolución}$$

ó

$$P \text{ (kpm/tiempo)} = [\text{kp (lectura del péndulo)}] \times (\text{Rev/Unidad de tiempo} \times 6 \text{ m/rev})$$

b) Potencia realizada en un minuto (cadencia de trabajo):

$$P \text{ (kpm/min)} = \text{Resistencia (kp)} \times \text{Circunferencia del Aro (6 m)} \times \text{Rev/min}$$

ó

$$P \text{ (kpm/min)} = [\text{kp (lectura del péndulo)}] \times (6\text{m} \times \text{rev/min})$$

c) Potencia realizada en un segundo:

$$P \text{ (kpm/seg)} = \frac{\text{Resistencia (kp)} \times \text{Rev/min (60 seg)} \times \text{Circunferencia del Aro}}{60 \text{ seg}}$$

ó

$$P \text{ (kpm/seg)} = \frac{[\text{kp (lectura del péndulo)}] \times (\text{rev/min} \times 6 \text{ m})}{60 \text{ seg}}$$

d) Potencia en intervalos de 5 segundos:

$$P \text{ (kpm/30 seg)} = \text{Resistencia (kp)} \times \text{rev/5 seg} \times \text{Circunferencia del Aro}$$

$$P \text{ (kpm/seg)} = [\text{kp (lectura del péndulo)}] \times (\text{rev/5 seg} \times 6 \text{ m})$$

c. Ejemplos:

1) Medición de trabajo:

DADO:

Cadencia del Metrónomo = 120 lat/min

$$\begin{aligned} \text{Revoluciones por Minuto (rev/min ó rpm)} &= \frac{2 \text{ lat del Metrónomo/Rev Completa del Pedal}}{120 \text{ latidos/minuto}} \\ &= \frac{2 \text{ lat/rev}}{120 \text{ lat/min}} \\ &= 60 \text{ rev/min (ó rpm)} \end{aligned}$$

Resistencia de Fricción/Freno Ejercida sobre la Rueda (Lectura de la pesa/péndulo en la Escala) = 1.5

Distancia que Recorre la Rueda Delantera por cada Revolución Completa del Pedal = 6 m

Duración del Ejercicio = 10 min

Total de Revoluciones = 10 min X 60 rpm
= 600 rev

CONOCIDO:

Trabajo (T) = Fuerza (F) X Distancia (d)

$$\text{Potencia (P)} = \frac{T}{t}$$

Potencia Ergométrica en el Cicloergómetro "Monark-Crescent AB" (P_E)
= [kp (lectura del Péndulo)] X (6m X rpm)

SOLUCION:

$$\begin{aligned} \text{Trabajo} &= [1.5 \text{ kp X (6 m/rev/min) (600 rev)} \\ &= 1.5 \text{ kp X 1200} \\ &= 5,400 \text{ kpm} \end{aligned}$$

2) Potencia:

DADO:

Cadencia del Metrónomo = 100 latidos/minuto

$$\text{rpm} = \frac{2 \text{ lat/rev}}{100 \text{ lat/min}} = 50$$

Fuerza (F) = 1 kp

Distancia (d) = 6 m

CONOCIDO:

Trabajo (T) = Fuerza (F) X Distancia (d)

$$\text{Potencia (P)} = \frac{T}{t}$$

Potencia Ergométrica en el Cicloergómetro "Monark-Crescent AB" (P_E)
= [kp (lectura del Péndulo)] X (6m X rpm)

SOLUCION:

$$\begin{aligned} P_E &= (\text{kp}) \times [(6\text{m} \times \text{rpm})] \\ &= (1 \text{ kp}) \times [(6\text{m} \times 50 \text{ rpm})] \\ &= (1 \text{ kp}) \times [(300 \text{ m/min})] \\ &= 300 \text{ kpm/min} \end{aligned}$$

$$\therefore \boxed{P_E = 300 \text{ kpm/min}}$$

VIII. ESCALON/BANCO

A. Concepto

1. Definición:

Aparato que mide trabajo/potencia y que sirve para determinar la capacidad funcional (mediante pruebas de función cardiorespiratoria), en la cual se requiere que el sujeto suba (trabajo positivo o acción en contra de la fuerza gravitatoria) y baje (trabajo negativo/eccéntrico o a favor de la fuerza de gravedad) su peso a una altura (del escalón/banco) dada y a una cadencia predeterminada que se establece/fija por un metrónomo.

B. Ventajas vs Desventajas

1. Ventajas:

- a. Requiere poca destreza.
- b. Representa una forma de trabajo que es familiar para todos.
- c. Se presta muy bien para pruebas utilizando grandes grupos de personas.
- d. Son económicos (con excepción del "Stair Master 600") y no requieren costos adicionales de mantenimiento.
- e. Requiere poco espacio y mantenimiento.
- f. Se puede trasladar con facilidad a cualquier lugar.
- g. No requiere procedimientos de calibración complicados en la evaluación del trabajo realizado y el equivalente de oxígeno de la prueba del escalón.

2. Desventajas:

- a. Los sujetos, particularmente cuando se sienten cansados, tienden a no enderezar sus cuerpos a nivel de las articulaciones de la cadera y rodilla:

1) Consecuencias:

El sujeto no levantará su centro de gravedad completamente a la altura del escalón/banco.

b. El sujeto realiza tanto trabajo positivo como negativo:

1) Dificultad del trabajo negativo:

Aunque se sabe que requiere considerablemente menos gasto energético (se estima ser de 1/3 a 1/7 del trabajo de subir el escalón), es difícil de evaluar.

c. Casi se hace imposible/difícil tomar/determinar cualquier medición fisiológica (con excepción de el electrocardiograma) durante la prueba:

El sujeto no puede ser sobrecargado de conductos y cables necesarios para mediciones de espirometría (monitoreo del intercambio de gases respiratorios) y hemodinámicas.

d. Es difícil cuantificar de forma continua la cadencia de trabajo (excepción: "Stair Master 600"):

Esto se debe a que no posee los deseados controles automáticos.

C. Requisitos/Especificaciones

1. Banco sencillo (un escalón) o doble (dos escalones) o de niveles múltiples, de altura fija o ajustable entre 2 y 12 pulgadas (5 a 30 cm):

También existen protocolos de pruebas del escalón utilizando bancos con alturas de: 40 y 50 cm (16 y 20 pulgadas) 10, 20, 30, 40 y 50 cm (4, 8, 12, 16 y 20 pulgadas).

2. Dimensiones típicas:

a. Altura: 23 - 25 cm

b. Ancho: 50 - 60 cm

c. Profundidad: 25 cm

3. Deben ser estables (no moverse) y estar cubiertos con una superficie no resbaladiza.

4. Para pruebas con envejecientes, se le puede añadir pasamanos.

D. Aspectos Técnicos de la Prueba:

1. Al subir el sujeto al escalón, éste debe de mantener una postura erecta, i.e., sin flexionar caderas y rodillas.

2. Se debe evitar sujetarse a cualquier objeto fijo durante la prueba del escalón, ya que esto altera el movimiento de las ascensiones y descensos al escalón/banco y afecta el esfuerzo.
3. Se recomienda utilizar un indicador de altura al subir el sujeto sobre el escalón durante la prueba, de manera que cuando se encuentre en una postura erecta normal, su cabeza debe tocar dicho indicador.

E. Determinación de la Intensidad del Esfuerzo:

1. Ajustando la altura del escalón/banco (utilizando un escalón/banco de altura cambiabile).
2. Ajustando la cadencia de los ciclos (un ciclo equivale a subir y bajar el escalón una vez) (utilizado para escalones de altura fija).

F. Cálculo de Trabajo y Potencia (Para un Banco de un [1] Escalón)

1. Para trabajo:

1) Fórmula/ecuación:

a) Primera fórmula:

$$T_E = [\text{Peso} (\text{Altura E/Ciclo} \times \text{Ciclos})] \cdot 1.33, \text{ donde:}$$

T_E = Trabajo realizado en el escalón o banco (kpm)

Peso = Peso corporal del sujeto (la fuerza ejercida en unidades de kilopondios [kp])

Altura E/Ciclo = Altura del escalón o banco (m) que se rebasa por cada ciclo ejecitado (ciclo), utilizando la unidad de medida: m/ciclo

Ciclos = Número/cantidad de ciclos o ejecuciones completas durante la prueba. Un (1) ciclo corresponde al recorrido de subir y bajar el escalón en una (1) ocasión.

1.33 = Factor constante, i.e., el trabajo negativo o excéntrico realizado al bajar el escalón o banco (equivalente aproximadamente a 1/3 del trabajo positivo efectuado al subir el Escalón).

b) Segunda fórmula:

$$T_E = [\text{Peso} (\text{Altura E/Ciclo} \times C \text{ Ciclos} \times t)] \cdot 1.33, \text{ donde:}$$

T_E = Trabajo mecánico realizado en el escalón (kpm)

Peso = Peso del sujeto o la fuerza aplicada (kp)

Altura E/Ciclo = Altura del escalón por cada ciclo que se lleva a cabo (m/ciclo).

C Ciclos = Cadencia o frecuencia de los ciclos ejecutados por minuto, i.e., el Número de veces que el sujeto completa un (1) viaje de subir y bajar el escalón durante cada minuto (ciclos/min). Para calcular la *Cadencia de los Ciclos*, se utiliza un *Metrónomo* que se coloca a un *Número dado de Latidos por Minuto*. Cada cuatro (4) latidos del metrónomo representa un (1) ciclo o ejecución, i.e., subir y bajar el escalón una sola vez en un conteo de 4:

- (1) Arriba Pie Izquierdo
- (2) Arriba Pie Derecho
- (3) Abajo Pie Izquierdo
- (4) Abajo Pie Derecho

Por lo tanto, la cadencia de los ciclos equivale al número de latidos por minuto en que se coloca el metrónomo dividido entre el conteo de cuatro (4), i.e.:

$$C \text{ Ciclos} = \frac{\text{Lat/min}}{4}$$

ó $1/4$ (0.25) de ciclo multiplicado por el número de latidos por minuto en que se fijó el metrónomo, i.e.:

$$C \text{ Ciclos} = 0.25 \text{ ciclo} \times \text{lat/min}$$

t = Duración total de la prueba del escalón (min).

1.33 = Trabajo negativo (1/3 del trabajo positivo)

2) Ejemplos:

a) Utilizando la primera fórmula:

Problema:

Determinar el trabajo realizado de un individuo con un peso de 70 kilogramos (kg) que sube y baja 10 veces un escalón de 50 cm (0.5m) de altura

Dado:

F = Peso Corporal (Peso): 70 kp

Altura E = Altura del Escalón: 0.5 m

1 Ciclo = Subir y Bajar el Escalón una vez

Altura E/Ciclo = 0.5 m/ciclo

Ciclos = 10

$$d = \text{Distancia Recorrida (m)} = \text{Altura E/Ciclo} \times \text{Ciclos} = 0.5\text{m/ciclo} \times 10 \text{ ciclos} = 5 \text{ m}$$

Conocido:

$$\text{Trabajo Negativo} = 1.33$$

$$T = F \times d$$

$$T_E = [\text{Peso (Altura E/Ciclo} \times \text{Ciclos)}] 1.33$$

Solución:

$$T_E = [70 \text{ kp} (0.5 \text{ m/ciclo} \times 10 \text{ ciclos})] 1.33$$

$$T_E = \left[\frac{70 \text{ kp}}{1} \left(\frac{0.5 \text{ m}}{\text{ciclo}} \times \frac{10 \text{ ciclos}}{1} \right) \right] 1.33$$

$$T_E = \left[\frac{70 \text{ kp}}{1} \left(\frac{5 \text{ m}}{1} \right) \right] 1.33$$

$$T_E = 465.5 \text{ kpm}$$

$$\therefore \boxed{T_E = 466 \text{ kpm}}$$

b) Utilizando la segunda fórmula:

Problema:

Determinar el trabajo mecánico de un individuo con un peso de 70 kg que sube y baja un banco de 50 cm durante diez (10) minutos a una cadencia determinada por un metrónomo colocado a 120 latidos por minuto.

Dado:

$$F = \text{Peso Corporal: } 70 \text{ kp}$$

$$\text{Altura E} = 50 \text{ cm} = 0.5 \text{ m}$$

1 Ciclo = Subir y Bajar el Escalón una vez

$$\text{Altura E/Ciclo} = 0.5 \text{ m/ciclo}$$

$$\text{Ritmo de Metrónomo} = 120 \text{ lat/min}$$

$$C \text{ Ciclos} = \text{Cadencia de los Ciclos} = (0.25 \text{ ciclos}) (120/\text{min}) = 30 \text{ ciclos/min}$$

$$t = 10 \text{ minutos}$$

$$\begin{aligned} d = \text{Distancia Recorrida (m)} &= [(\text{Altura E/Ciclo}) (C \text{ Ciclos})] (t) = \\ &= [(0.5 \text{ m/ciclo}) (30 \text{ ciclos/min})] (10 \text{ minutos}) \\ &= 150 \text{ m} \end{aligned}$$

Conocido:

Trabajo Negativo = 1.33

$$T = F \times d$$

$$T_E = \{ \text{Peso} \{ \text{Altura E/Ciclo} \} (C \text{ Ciclos}) (t) \} 1.33$$

Solución:

$$T_E = \{ 70 \text{ kp} \{ (0.5 \text{ m/ciclo}) \} (30 \text{ ciclos/min} (10 \text{ min})) \} 1.33$$

$$T_E = \left\{ \frac{70 \text{ kp}}{1} \left[\left(\frac{0.5 \text{ m}}{\text{ciclo}} \right) \left(\frac{30 \text{ ciclos}}{\text{min}} \right) \left(\frac{10 \text{ min}}{1} \right) \right] \right\} \frac{1.33}{1}$$

$$T_E = \left\{ \frac{70 \text{ kp}}{1} \left[\left(\frac{0.5 \text{ m}}{1} \right) \left(\frac{30}{1} \right) \left(\frac{10}{1} \right) \right] \right\} \frac{1.33}{1}$$

$$T_E = \left[\frac{70 \text{ kp}}{1} \left(\frac{150 \text{ m}}{1} \right) \right] \frac{1.33}{1}$$

$$T_E = \left(\frac{10,500 \text{ kpm}}{1} \right) \frac{1.33}{1}$$

$$T_E = \frac{13,965 \text{ kpm}}{1}$$

$$\therefore \boxed{T_E = 13,965 \text{ kpm}}$$

2. Para potencia:

1) Fórmula/ecuación:

a) Primera fórmula (no toma en consideración la duración total de la prueba):

$$P_E = [\text{Peso} (\text{Altura E/Ciclo} \times C \text{ Ciclos})] 1.33, \text{ donde:}$$

P_E = Potencia mecánica producida por la prueba del escalón o banco (kpm/min)
 Peso = Masa/peso corporal del sujeto (la fuerza en kp)
 Altura E/Ciclo = Altura del escalón rebasada por ciclo (m/ciclo)
 C Ciclos = Cadencia de los ciclos por minuto (ciclos/min)
 1.33 = Trabajo negativo/excéntrico (factor constante)

b) Segunda fórmula:

$$P_E = [\text{Peso} (\text{Ciclos/t} \times \text{Altura E/Ciclo})] 1.33, \text{ donde:}$$

P_E = Potencia que produce la prueba del escalón (kpm/min)
 Peso = Peso corporal o la fuerza (kp)
 Ciclo/t = Número de ciclos completados dividido entre la duración total de la prueba (ciclos/min)
 t = Duración total de la prueba del escalón (min).
 Altura E/Ciclo = Altura del banco que se rebasa durante cada ciclo (m/ciclo)
 1.33 = Trabajo realizado al bajar el banco

b) Tercera fórmula:

$$P_E = [\text{Peso} (\text{Altura E/Ciclo} \times \text{C Ciclos} \times \text{t})] 1.33/t, \text{ donde:}$$

P_E = La potencia que se lleva a cabo en el escalón o banco (kpm/min)
 Peso = Masa corporal (fuerza que aplica el sujeto al subir el escalón, en kp)
 Altura E/Ciclo = Altura del escalón que se recorre en cada ciclo (m/ciclo)
 C Ciclos = Frecuencia o cantidad de ciclos ejecutados en un minuto (ciclos/min)
 t = Duración que dura prueba del escalón.
 1.33 = Trabajo excéntrico (de bajar el escalón)

2) Ejemplos:

a) Utilizando la primera fórmula:

Problema:

Calcular la potencia que produce un sujeto de 70 kg que sube y baja un escalón de 50 cm (0.5m) a una cadencia fijada por un metrónomo que late 120 latidos por minuto.

Dado:

$F = \text{Peso} = 70 \text{ kp}$
 $\text{Altura E/Ciclo} = 0.5 \text{ m/ciclo}$
 $\text{C Ciclos} = (0.25 \text{ ciclos}) (120/\text{min}) = 30 \text{ ciclos/min}$

Conocido:

$$\text{Trabajo Negativo} = 1.33$$

$$P = \frac{F \times d}{t} = \frac{T}{t}$$

$$P_E = [\text{Peso (Altura E/Ciclo X C Ciclos)}] 1.33$$

Solución:

$$P_E = [70 \text{ kp} (0.5 \text{ m/ciclo} \times 30 \text{ ciclos/min})] 1.33$$

$$P_E = \left[\frac{70 \text{ kp}}{1} \left(\frac{0.5 \text{ m}}{\text{ciclo}} \times \frac{30 \text{ ciclos}}{\text{min}} \right) \right] \frac{1.33}{1}$$

$$P_E = \left[\frac{70 \text{ kp}}{1} \left(\frac{0.5 \text{ m}}{1} \times \frac{30}{\text{min}} \right) \right] \frac{1.33}{1}$$

$$P_E = \left[\frac{70 \text{ kp}}{1} \left(\frac{15 \text{ m}}{\text{min}} \right) \right] \frac{1.33}{1}$$

$$P_E = \left[\frac{1050 \text{ kpm}}{\text{min}} \right] \frac{1.33}{1}$$

$$P_E = \frac{1396.5 \text{ kpm}}{\text{min}}$$

$$\therefore \boxed{P_E = 1397 \text{ kpm/min}}$$

b) Utilizando la segunda fórmula:

Problema:

Determinar la potencia de un individuo con un peso de 70 kg subiendo y bajando 30 veces el escalón de 0.5 m de altura durante 10 minutos.

Dado:

$$F = 70 \text{ kp}$$

$$\text{Ciclos} = 30$$

$$t = 10 \text{ minutos}$$

$$\text{Altura E/Ciclo} = 0.5 \text{ m/ciclo}$$

Conocido:

$$\text{Trabajo Negativo} = 1.33$$

$$P = \frac{F \times d}{t} = \frac{T}{t}$$

$$P_E = [\text{Peso (Ciclos/t X Altura E/Ciclo)}] 1.33$$

Solución:

$$P_E = [70 \text{ kp (30 ciclos/10 min x 0.5 m/Ciclo)}] 1.33$$

$$P_E = \left[\frac{70 \text{ kp}}{1} \left(\frac{30 \text{ ciclos}}{10 \text{ min}} \times \frac{0.5 \text{ m}}{\text{ciclo}} \right) \right] \frac{1.33}{1}$$

$$P_E = \left[\frac{70 \text{ kp}}{1} \left(\frac{30}{10 \text{ min}} \times \frac{0.5 \text{ m}}{1} \right) \right] \frac{1.33}{1}$$

$$P_E = \left[\frac{70 \text{ kp}}{1} \left(\frac{15 \text{ m}}{10 \text{ min}} \right) \right] \frac{1.33}{1}$$

$$P_E = \left[\frac{1050 \text{ kpm}}{10 \text{ min}} \right] \frac{1.33}{1}$$

$$P_E = \frac{1396.5 \text{ kpm}}{10 \text{ min}}$$

$$P_E = 139.65 \text{ kpm/min}$$

$$\therefore \boxed{P_E = 140 \text{ kpm/min}}$$

b) Utilizando la tercera fórmula:

Problema:

Computar la potencia producida por una persona de 70 kilogramos que sube y baja un banco de 0.5 m durante 10 minutos a una cadencia establecida por un metrónomo que posee un ritmo de 120 latidos por minuto.

Dado:

$$F = 70 \text{ kp}$$

$$\text{Altura E/Ciclo} = 0.5 \text{ m/ciclo}$$

$$C \text{ Ciclos} = (0.25 \text{ ciclos}) (120/\text{min}) = 30 \text{ ciclos/min}$$

$$t = 10 \text{ minutos}$$

Conocido:

$$\text{Trabajo Negativo} = 1.33$$

$$P = \frac{F \times d}{t} = \frac{T}{t}$$

$$P_E = [\text{Peso (Altura E/Ciclos/t X C Ciclos X 10 t)}] 1.33/t$$

Solución:

$$P_E = [70 \text{ kp} (0.5 \text{ m/ciclo X } 30 \text{ ciclos/min X } 10 \text{ min})] 1.33/10 \text{ min}$$

$$P_E = \left[\frac{70 \text{ kp}}{1} \left(\frac{0.5 \text{ m}}{\text{ciclo}} \times \frac{30 \text{ ciclos}}{\text{min}} \times \frac{10 \text{ min}}{1} \right) \right] \frac{1.33}{10 \text{ min}}$$

$$P_E = \left[\frac{70 \text{ kp}}{1} \left(\frac{0.5 \text{ m}}{1} \times \frac{30}{1} \times \frac{10}{1} \right) \right] \frac{1.33}{10 \text{ min}}$$

$$P_E = \left[\frac{70 \text{ kp}}{1} \left(\frac{150 \text{ m}}{1} \right) \right] \frac{1.33}{10 \text{ min}}$$

$$P_E = \left[\frac{10,500 \text{ kpm}}{1} \right] \frac{1.33}{10 \text{ min}}$$

$$P_E = \frac{13,965 \text{ kpm}}{10 \text{ min}}$$

$$P_E = 1396.5/\text{min}$$

$$\therefore \boxed{P_E = 1397 \text{ kpm}}$$

IX. EFICIENCIA MECANICA Y ECONOMIA

A. Economía de un Ejercicio

1. Modo de describirla:

a. Eficiencia general:

1) Definición matemática:

La proporción del trabajo producido dividido entre la energía gastada.

2) Fórmula:

$$\% \text{ Eficiencia General} = \frac{\text{Trabajo Producido}}{\text{Energía gastada}} \times 100$$

B. Eficiencia de una Máquina y el Ser Humano

1. Para la máquina:

a. Nunca es 100% eficiente puesto que siempre algo de energía se pierde debido a la fricción de las partes moviéndose.

b. **Ejemplo:** Motor de un automovil de gasolina:

1) Eficiencia general/total con que opera:

Aproximadamente 20% - 25%.

2. Para el ser humano:

a. No es 100% eficiente porque se pierde energía en la forma de calor.

b. **Ejemplo:** Ser Humano Ejercitandose en un Cicloergómetro:

1) Eficiencia general/total:

Fluctúa entre 15% y 25%, dependiendo de la carga/potencia ergométrica (kpm/min á Vatios).

C. Eficiencia General

1. Durante un cicloergómetro o banda sinfín:

a. Requisito de medición:

- 1) Trabajo producido.
- 2) Evaluación del gasto energético del sujeto durante el ejercicio.

b. Requisitos particulares:

- 1) Las mediciones de VO_2 deben de realizarse durante condiciones de estado estable.

c. Requisitos de cálculo/computaciones de las unidades de medida utilizadas:

Ambos: Tanto el numerador como el denominador deben ser expresados en términos similares (utilizando los factores de conversión).

Por lo tanto:

- ▶ El numerador (trabajo producido) es expresado en unidades de kpm.
- ▶ El denominador (gasto energético) que es expresado en kcal, debe de ser convertido en unidades de kpm.
- ▶ o viceversa.

d. Ejemplo:

DADO:

Resistencia de Fricción/Freno Contra el Aro del Cicloergómetro = 2 kp

Velocidad de Arrancar con la Manivela del Pedal = 5 rev/min

VO_2 en Estado Estable = 1.5 L/min

Distancia Recorrida por Revolución = 6m/rev

CONOCIDO:

$$\text{Trabajo (T)} = \text{Fuerza (F)} \times \text{Distancia (d)}$$

$$\text{Potencia (P)} = \frac{T}{t}$$

$$\begin{aligned} \text{Potencia Ergométrica en el Cicloergómetro "Monark-Crescent AB" (P_E)} \\ = [\text{kp (lectura del Péndulo)}] \times (6\text{m} \times \text{rpm}) \end{aligned}$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Trabajo Producido}}{\text{Energía gastada}} \times 100$$

$$1 \text{ L O}_2 \approx 5 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ kcal} = 426.8 \text{ kpm}$$

SOLUCION:

$$\begin{aligned} \text{Potencia en el Cicloergómetro} &= [\left(\frac{2 \text{ kp}}{1} \right) \times \left[\left(\frac{50 \text{ rev}}{\text{min}} \right) \left(\frac{6 \text{ m}}{\text{rev}} \right) \right]] \\ &= \left(\frac{2 \text{ kp}}{1} \right) \times \left(\frac{300 \text{ m}}{\text{min}} \right) \\ &= 600 \text{ kpm/min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gasto Energético (kcal/min)} &= \left(\frac{1.5 \text{ L-O}_2}{\text{min}} \right) \left(\frac{5 \text{ kcal}}{\text{L-O}_2} \right) \\ &= 7.5 \text{ kcal/min} \end{aligned}$$

$$\text{Gasto Energético (kp/min)} = \left(\frac{7.5 \text{ kcal}}{\text{min}} \right) \left(\frac{426.8 \text{ kpm}}{1 \text{ kcal}} \right)$$

$$= \frac{3201 \text{ kpm}}{\text{min}}$$

$$= 3,201 \text{ kpm/min}$$

$$\text{Eficiencia General} = \frac{600 \text{ kpm/min}}{3,201 \text{ kpm/min}} \times 100$$

$$= 0.187 \times 100$$

$$= 18.7 \%$$

D. Variación en la Eficiencia

La eficiencia tiende a aumentar hasta un punto conforme aumenta la carga/potencia ergométrica:

E. Movimiento de Velocidad y Eficiencia

1. Velocidad óptima de un movimiento para una cadencia dada de trabajo:

a. Resultados de investigaciones:

1) La velocidad óptima de un movimiento aumenta conforme la potencia aumenta.

2) En otras palabras:

A niveles altos de potencia, se requiere una mayor eficiencia de velocidad para poder obtener una eficiencia óptima.

3) Cualquier cambio en la velocidad de un movimiento fuera de lo óptimo resulta en una reducción en la eficiencia.

4) A cargas/potencia ergométrica de baja a moderado con una velocidad de pedaleo a 60 rev/min:

Es generalmente considerado óptimo durante un cicloergómetro de brazos.

2. Velocidad de la eficiencia a bajas velocidades de movimiento:

1) Declina:

a) Razón:

Probablemente por inercia.

X. MEDICION DEL GASTO ENERGETICO (CALORIMETRÍA)

A. Calorimetría

1. Concepto:

Método utilizado para medir el metabolismo/tasa metabólica basal o consumo/gasto energético (en calorías, kilocalorías o Julios).

2. Unidades de medida (de energía):

a, Caloría (cal):

Cantidad de calor requerido para elevar la temperatura de un gramo de agua a un grado centígrado a nivel del mar (760 mm. Hg.).

b. kilocaloría:

La cantidad de calor que se necesita para cambiar la temperatura de 1 kg de agua a 1 °C a nivel del mar (760 mm. Hg.).

B. Calorimetría Directa:

1. Concepto:

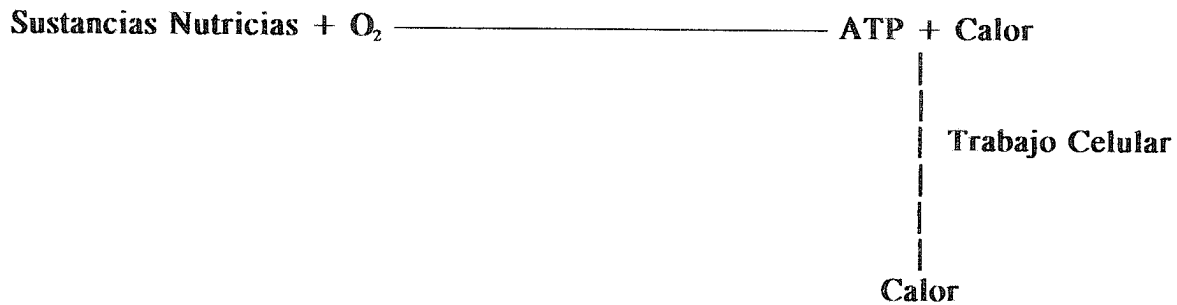
Método utilizado para medir directamente el calor despedido/liberado por los procesos metabólicos/respiración celular.

2. Justificación para su utilización:

a. Principios/teoría:

1) La energía total liberada por el cuerpo puede ser medida vía conducción, radiación y evaporación.

2) La proporción del calor producido por un animal es directamente proporcional a su tasa metabólica.



3. Cámara respiratoria (bomba calorímetra para humanos):

a. Descripción/concepto:

El aparato utilizado para determinar el calor producido por una persona, donde eventualmente se calcula la energía liberada por los procesos metabólicos.

b. Utilidad/importancia en el campo de la fisiología del ejercicio:

1) Desventajas:

- a) Es relativamente pequeño.
- b) Es considerablemente costoso.
- c) Toma mucho tiempo el cálculo de la producción de calor.
- d) Su utilidad generalmente no aplica para determinaciones energéticas durante deportes o actividades recreativas comunes.

C. Calorimetría Indirecta

1. Concepto:

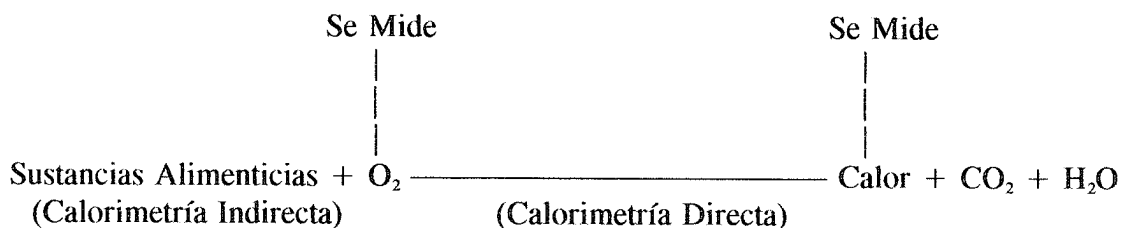
Medición indirecta del gasto energético mediante la determinación/cálculo de los gases respiratorios (el oxígeno utilizado y el bióxido de carbono producido) envueltos en la oxidación/combustión de las sustancias nutricias.

2. Justificación para su utilización:

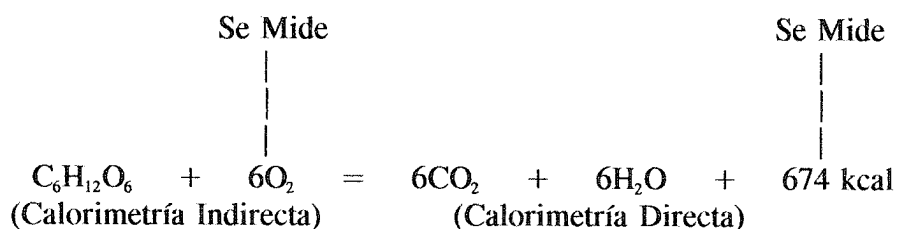
a. Principios/teoría:

- 1) Todos los procesos metabólicos del cuerpo utilizan oxígeno y producen bióxido de carbono.

- 2) La producción de energía se encuentra directamente relacionada con el consumo de oxígeno y el bióxido de carbono producido.
- 3) Una cantidad dada de oxígeno siempre representa una cantidad dada de calor



- 4) Relación de estequiometría entre la combustión de las sustancias nutricias, el oxígeno requerido para dicho proceso y el bióxido de carbono producido:



3. Espirometria en Circuito Abierto:

a. Concepto:

El método utilizado para medir el consumo de oxígeno mediante la determinación de los volúmenes de aire inspirado o espirado y su eventual análisis químico (análisis fraccionario del O₂ Y CO₂).

b. Descripción:

- 1) El sujeto inhala aire ambiental que posee una composición química constante (20.93% de O₂ y 0.03% de CO₂), determinando el volumen de aire respirado.
- 2) Muestras del gas espirado se toman de un recipiente para determinar el porcentaje de los gases oxígeno y bióxido de carbono presentes en un volumen conocido de aire.

- 3) Eventualmente se mide el oxígeno consumido por el cuerpo (volumen de O₂ inspirado - volumen de O₂ espirado) e indirectamente se infiere el gasto energético.

c. Métodos:

- 1) Espirómetro portátil.
- 2) Sacos meteorológicos.
- 3) Instrumentación computarizada.

d. Equivalencia calórica del consumo de oxígeno:

1) Principio:

Se puede calcular la cantidad de calor producido si conocemos cuanto oxígeno es utilizado/consumido para la oxidación/catabolismo de los carbohidratos, grasas y proteínas en sus productos principales (ATP y calor).

2) Requisitos:

- a) Conocer el tipo de sustrato (sustancias nutricias que proveen calorías) oxidado/metabolizado (al ingerirse en la dieta):

- ▶ Carbohidratos.
- ▶ Grasas.
- ▶ Proteínas.
- ▶ Combinación/mezcla de carbohidratos, grasas y proteínas.
- ▶ Alcohol.
- ▶ Ningún nutriente (ayuno).

3) Problema:

Los cambios en los hábitos dietéticos.

- 4) Equivalencias energéticas/calóricas (la energía liberada) cuando un (1) litro de oxígeno se consume para oxidar/metabolizar las sustancias nutricias que proveen calorías (sustratos) ingeridos en la dieta:

SUSTRATO OXIDADO (1 gramo) [Tipo de Dieta]	EQUIVALENCIA RESPIRATORIA
	Equivalencia Calórica/Litro de O ₂
	Valor Calórico de 1 Litro de O ₂ (kcal/L de O ₂)
Carbohidratos	5.047
Grasas	4.686
Proteínas	4.485
Dieta Mixta (Carbohidratos, Grasas y Proteínas)	4.863
Alcohol	4.86
Inanición (Ayuno)	4.70

5) El gasto calórico del ejercicio:

a) Estimación:

5 kcal por litro de O₂ consumido.

b) Ejemplo:

PROBLEMA:

Determinar el gasto energético por minuto de un individuo ejercitándose con un consumo de oxígeno de 2.0 litros por minuto.

DADO:

▶ $V_{O_2}(\text{L}/\text{min}) = 2.0$

▶ Gasto Energético del Ejercicio (Kcal/L O₂) = 5 kcal/L de O₂

SOLUCION:

Gasto Energético del Ejercicio (kcal/min) = (5 kcal/L-O₂) X (2.0-L-O₂)

$$= \boxed{10 \text{ kcal/min}}$$

e. La Proporción del intercambio respiratorio (R) o Cociente Respiratorio (CR):

1) Concepto:

La proporción o razón entre el volumen de bióxido de carbono producido por minuto y el volumen de oxígeno consumido por minuto.

2) Fórmula:

$$R \text{ ó } CR = VCO_2/VO_2$$

3) Utilidad/Importancia:

Se puede estimar el tipo de sustancia nutricia (sustrato) que se encuentra oxidando las células del cuerpo.

4) Determinante:

El tipo de sustrato (carbohidratos o grasas) metabolizados.

5) Requisitos:

La validez del cociente respiratorio estriba en que el ejercicio se encuentre en un estado estable del consumo de oxígeno.

6) Cociente respiratorio (CR) de los sustratos:

a) Cuando un (1) litros (L) de oxígeno (O₂) se consume:

► Carbohidratos:

Glucosa: C₆H₁₂O₆

Oxidación: C₆H₁₂O₆ + 6O₂ ————— 6CO₂ + 6H₂O

$$CR = \frac{VCO_2}{VO_2} \left\{ \begin{array}{l} \text{Cada Volumen de Oxígeno Consumido es Asociado con el} \\ \text{Mismo Volumen de Bióxido de Carbono Producido} \end{array} \right.$$

$$CR = \frac{6CO_2}{6O_2}$$

$$CR = 1$$

$$\therefore \boxed{CR = 1.0 \text{ para los carbohidratos}}$$

► Grasas:

Acido Palmítico:



$$CR = \frac{VCO_2}{VO_2}$$

$$CR = \frac{16CO_2}{32O_2} \quad \left| \begin{array}{l} \text{La Oxidación de las Grasas Requiere más Oxígeno que la} \\ \text{Oxidación de los Carbohidratos} \end{array} \right.$$

$$CR = 0.70$$

$$\therefore \boxed{CR = 0.70 \text{ para las Grasas}}$$

► Proteínas:

Debido a que la proteína juega un papel pequeño en el metabolismo energético, bajo circunstancias normales, es considerado un factor insignificante en la interpretación de un valor de CR.

$$\therefore \boxed{\text{El CR es No Proteínico}}$$

NOTA: El Valor CR para las Proteínas es Alrededor de 0.83

b) Contribución equitativa de carbohidratos y grasas como sustratos energéticos:

50% Carbohidratos Oxidados

50% Grasas Oxidadas

- 7) Contribución relativa (porcentaje) de los carbohidratos y grasas metabolizadas (sin tener en cuenta las proteínas), a base del cociente respiratorio, con sus equivalentes energéticos/calóricos determinados vía calorimetría directa (externa o vía bomba calorímetra e interna/fisiológica o vía bomba/cámara calorimetría respiratoria) y calorimetría indirecta (valor calórico de 1 litro de O₂ según se determinó mediante la espirometría en circuito abierto):

Proporción del Intercambio Respiratorio (R) o Cociente Respiratorio (CR)	Equivalentes	Calóricos/	Energéticos	Contribución Relativa	
	Calorimetría Indirecta	Calorimetría	Directa	de los	
	Valor Calórico de 1 litro de O ₂ (kcal/L O ₂)	Energía Liberada 1 gramo de	de Sustrato	Sustratos	Oxidados
		Externa (kcal/g)	Interna o Fisiológica (kcal/g)	Carbohidrato (%)	Grasas (%)
1.00	5.047	4.10	4.02	100	0
0.85	4.862			50	50
0.70	4.686	9.45	8.98	0	100

f. Formas de expresar el gasto calórico de cualquier actividad física:

1) Descripción general:

Medidas Absolutas

VO₂ en Litros/min

VO₂ en ml/min

kilocalorías/min

Medidas Relativas

VO₂ en ml/kg/min

METS

kilocalorías/kg/min

2) El consumo de oxígeno:

a) Valor/medida absoluta (mediciones absolutas de trabajo o metabolismo):

◆ Concepto:

La capacidad total para realizar trabajo externo al cuerpo.

◆ Utilidad/importancia/aplicabilidad:

Si se esta interezado en la habilidad individual para producir trabajo externo (e.g., conducir un camión, operar maquinaria, hacer labor manual, entre otros).

◆ Unidades de expresión:

VO₂ (L/min):

► Concepto:

El volumen/cantidad (en litros) de oxígeno utilizado por todas las células del cuerpo durante intervalos de un (1) minuto a nivel del mar (i.e., en condiciones estandarizadas en cuanto a temperatura, presión atmosférica y humedad relativa).

► Valor típico/normal en reposo:

VO₂, L/min en Reposo = 0.250 Litros/min

VO₂ (ml/min):

► Concepto:

El volumen del gas oxígeno consumido bajo condiciones ambientales estandarizadas en cuanto a temperatura (273 °K ó 0 °C), presión atmosférica (760 mm. Hg. ó 760 torr ó 101,325 Pa ó 1 atm) y humedad relativa (seco, 0% humedad relativa o en ausencia de vapor de agua), expresado en mililitros (ml) por minuto (min).

b) Valor/medida relativa (al peso corporal):

◆ Concepto:

La capacidad del cuerpo para producir trabajo (i.e., la cantidad de trabajo realizado en relación al cuerpo).

◆ Utilidad/importancia/aplicabilidad:

- Provee evidencia de cuan bien la gente se desempeña en las actividades que requieren levantar el peso de la propia persona (e.g., caminar y correr).
- Permite hacer comparaciones entre individuos con diferentes pesos corporales.

◆ Unidades de expresión:

VO_2 (ml/kg/min):

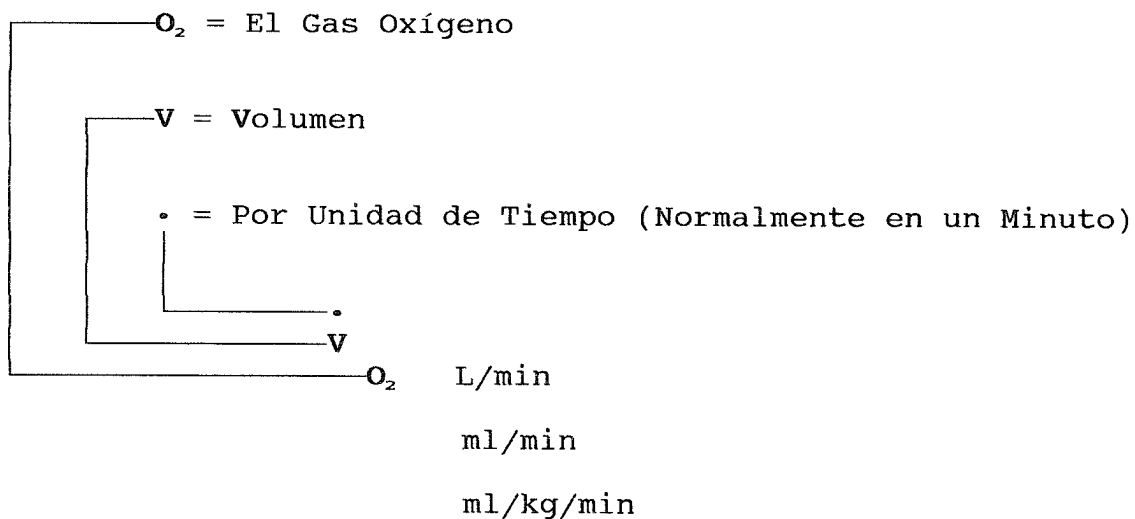
► Concepto:

El volumen o cantidad (en mililitros) de oxígeno (O_2) utilizado/consumido por las mitocondrias de todas las células del cuerpo relativo al peso corporal (kg) en intervalos de tiempo de un (1) minuto bajo condiciones estandarizadas (STPD) de los volúmenes del aire/gas ambiental espirado.

► Valor típico/normal en reposo (tasa metabólica basal/de reposo promedio):

$$\text{VO}_2, \text{ ml/kg/min} = 3.5 \text{ ml/kg/min}$$

c) Significado de las abreviaciones:



3) METs (equivalencia metabólica):

a) Concepto:

- ◆ Medida energética y de potencia relativa (al peso corporal) que equivale a la cantidad de energía (o consumo de oxígeno) requerida para mantener los procesos vitales del cuerpo durante un estado de reposo, despierto y relajado, después de 12-14 horas de la última comida.

◆ Implicación:

▶ Equivale a:

- La tasa metabólica basal (VO_2 , ml/kg/min en reposo).
- El volumen de oxígeno consumido por kilogramo del peso corporal por minuto (VO_2 , ml/kg/min) en reposo.
- 3.5 ml de O_2 /kg/min (promedio de la tasa metabólica basal).

◆ METs:

▶ Múltiplos de la tasa metabólica basal:

Número de veces que un nivel dado de trabajo (ejercicio o actividad física) se encuentra sobre el nivel metabólico en reposo.

▶ Múltiplos del consumo de oxígeno relativo al peso corporal en reposo (3.5 ml de O_2 /kg/min):

- Múltiplos del VO_2 , ml/kg/min en reposo.
- Múltiplos de 3.5 ml O_2 /kg/min.

▶ Costo Energético del Ejercicio:

- Expresado en METS: Múltiplos del VO_2 (ml/kg/min) en Reposo.

◆ Equivalencia:

1 MET = 3.5 ml O_2 /kg/min = Equivalencia Metabólica

= Tasa Metabólica Basal = VO_2 (ml/kg/min) en Reposo.

b) Utilidad:

Forma de expresar/describir en valores relativos el gasto/costo energético del ejercicio, actividades físicas o trabajo laboral.

c) Ventaja:

- ◆ Simplifica la cuantificación de los requisitos energéticos del ejercicio/actividad física:

Cuantifica en unidades simples el costo energético del ejercicio, actividad física o trabajo laboral.

d) Equivalencias/constantes:

$$1 \text{ MET} = 3.5 \text{ ml/kg/min}$$

$$1 \text{ MET} = 1 \text{ kcal/kg/hr}$$

e) Fórmulas:

$$\text{METS} = \frac{\text{VO}_2 \text{ ml/kg/min}}{3.5 \text{ ml/kg/min}}$$

$$\text{METS} = \left[\frac{(\text{kcal/min dividido entre } 5 \text{ kcal/L O}_2) (1000 \text{ ml})}{\text{Peso Corporal (kg)}} \right] \text{ dividido entre } 3.5 \text{ ml/kg/min}$$

4) kcal (kg/hr): medida/valor relativo:

a) Concepto:

- ◆ Expresión del gasto energético en kilocalorías por kilogramo del peso corporal por hora (kcal/kg/hr).

- ◆ Es lo mismo que la expresión del MET, pero con una ventaja:

Se facilita el calcular la cantidad de kilocalorías que una persona utiliza.

b) Equivalencias/constantes:

$$1 \text{ kcal/kg/min} = 1 \text{ MET}$$

$$1 \text{ kcal/kg/min} = 3.5 \text{ ml/kg/min}$$

5) Kilocalorías gastadas por minuto (kcal/min): Medida/valor absoluto:

a) Utilidad:

◆ Expresa el consumo de oxígeno en kilocalorías utilizadas por minuto:

$$1 \text{ Litro de O}_2 \text{ Consumido por minuto} = 5.0 \text{ kcal/L de O}_2$$

b) Equivalencias/constantes:

$$1 \text{ kcal/min} = 426.8 \text{ kpm/min} = 69.759 \text{ W} = 4,186 \text{ J} = 4.1855 \text{ kj/min}$$

c) Fórmula:

$$\text{kcal/min} = \text{METs} \times 3.5 \text{ ml/kg/min} \times \text{Peso (kg)} \times 0.001 \text{ L} \times 5 \text{ kcal/L O}_2$$

$$\text{kcal/min} = \frac{\text{MET} \times \text{Peso Corporal (kg)}}{60 \text{ min/hr}}$$

6) Fórmulas/ecuaciones (conversiones):

a) Proporción del intercambio respiratorio (R) o cociente respiratorio (CR):

$$\text{R ó CR} = \frac{\text{VCO}_2}{\text{VO}_2}$$

b) Consumo de oxígeno (VO₂):

$$\text{VO}_2 \text{ ml/kg/min} = \frac{\text{VO}_2 \text{ L/min} \times 1000 \text{ ml}}{\text{Peso Corporal (kg)}}$$

c) Equivalencia metabólica (MET):

$$\text{MET} = \frac{\text{VO}_2 \text{ ml/kg/min}}{3.5 \text{ ml/kg/min}}$$

$$\text{METS} = \left[\frac{\left(\frac{\text{kcal/min}}{5 \text{ kcal/L}} \right) \left(\frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ ml}} \right)}{\text{Peso Corporal (kg)}} \right] \text{ Dividido entre } 3.5 \text{ ml de O}_2/\text{kg/min}$$

d) kilocaloría por minuto (kcal/min):

$$\text{kcal/min} = \text{METS} \times 3.5 \text{ ml de O}_2/\text{kg/min} \times \text{Peso Corporal (kg)} \times .001 \text{ L} \times 5 \text{ kcal/L O}_2$$

$$\text{kcal/min} = \frac{\text{MET} \times \text{Peso Corporal (kg)}}{60 \text{ min/hr}}$$

D. Estimacion del Gasto Energetico

1. Caminar:

a. Requisitos:

Velocidades entre 50 y 100 metros/min (1.9 y 3.7 millas/hora).

b. Costo/gasto energético (VO₂ en ml de O₂/kg/min) para caminar un (1) metro por minuto sobre una superficie, pista de correr o la calle:

$$\text{VO}_2 \text{ (ml/kg/min por m/min) Para Caminar Horizontalmente} = 0.1 \frac{\text{ml de O}_2/\text{kg/min}}{\text{m/min}}$$

c. Costo/gasto energético/calórico (VO₂ en ml de O₂/kg/min) para caminar, correr o trotar un (1) metro por minuto sobre una superficie que se inclina hacia arriba (en una banda sinfín, terreno o calle):

$$\text{VO}_2 \text{ (ml/kg/min por m/min) Para Cualquier Trabajo/Actividad Vertical} = 1.8 \frac{\text{ml de O}_2/\text{kg/min}}{\text{m/min}}$$

d. Costo/gasto energético (VO_2 ml/kg/min) para el Componente Horizontal (CH) requerido para caminar:

- 1) Cuando solo se quiere estimar el costo energético total requerido para caminar sobre una superficie plana/horizontal (sin que la persona camine en una cuesta):
CH + VO_2 Reposo:

$$CH = \text{Velocidad (m/min)} \times \left(0.1 \frac{\text{ml de O}_2/\text{kg/min}}{\text{m/min}}\right) + 3.5 \text{ ml de O}_2/\text{kg/min}$$

NOTA:

Véase que se incluye el componente del consumo de oxígeno relativo al peso en reposo (3.5 ml/kg/min).

- 2) Cuando se estimará también el costo energético del trabajo vertical (i.e., si se camina, corre o trota en una cuesta o a un porcentaje de elevación en una banda sinfín), el componente horizontal no incluye el consumo de oxígeno en reposo:

$$CH = \text{Velocidad (m/min)} \times \left(0.1 \frac{\text{ml de O}_2/\text{kg/min}}{\text{m/min}}\right)$$

e. Costo/gasto energético (VO_2 ml/kg/min) para el Componente Vertical (CV) requerido para caminar:

$$CV = \left[\left(\frac{\% \text{ Elevación}}{100}\right) \times \text{Velocidad (m/min)}\right] \times \left(1.8 \frac{\text{ml de O}_2/\text{kg/min}}{\text{m/min}}\right)$$

f. Costo energético en reposo (VO_2 Reposo):

3.5 ml de O_2 /kg/min

g. Costo/gasto energético (VO_2 ml/kg/min) total para caminar a lo largo de una elevación:

$$VO_2(\text{ml de O}_2/\text{kg/min}) \text{ Caminar Hacia Arriba} = CH + CV + VO_2 \text{ Reposo} =$$

$$\left[\text{Velocidad (m/min)} \times \left(0.1 \frac{\text{ml/kg/min}}{\text{m/min}} \right) \right] + \left[\left(\frac{\% \text{ Elevación}}{100} \right) \times \text{Velocidad (m/min)} \right. \\ \left. \times \left(1.8 \frac{\text{ml/kg/min}}{\text{m/min}} \right) \right] + 3.5 \text{ ml/kg/min}$$

2. Correr/trotar

a. Velocidades sobre 134 m/min (>5 mi/hr ó >8 km/hr).

b. Si realmente se encuentra trotando (no caminando):

También puede incluir velocidades entre 80 y 134 m/min (3 y 5 min/hr).

c. Costo/gasto energético (VO_2 en ml de $\text{O}_2/\text{kg}/\text{min}$) para correr/trotar un (1) metro por minuto sobre una superficie horizontal de una banda sinfín, pista de correr o la calle:

$$\text{VO}_2 \text{ (ml/kg/min por m/min) Para Correr/Trotar Horizontalmente} = 1.8 \frac{\text{ml de O}_2/\text{kg}/\text{min}}{\text{m/min}}$$

d. Factor de corrección al correr/trotar sobre una elevación en la banda sinfín:

0.5

e. Costo/gasto energético (VO_2 ml/kg/min) para el Componente Horizontal (CH) requerido para correr/trotar:

1) Cuando solo se quiere estimar el costo energético total requerido para correr/trotar sobre una superficie plana/horizontal (sin que la persona corre/trote en una cuesta):

$\text{CH} + \text{VO}_2 \text{ Reposo}$

$$\text{CH} = \text{Velocidad (m/min)} \times \left(0.2 \frac{\text{ml de O}_2/\text{kg}/\text{min}}{\text{m/min}} \right) + 3.5 \text{ ml de O}_2/\text{kg}/\text{min}$$

NOTA:

Véase que se incluye el componente del consumo de oxígeno relativo al peso en reposo (3.5 ml/kg/min).

- 2) Cuando se estimará también el costo energético del trabajo vertical (i.e., se corre o trota en una cuesta o a un porcentaje de elevación en una banda sinfín), el componente horizontal no incluye el consumo de oxígeno en reposo:

$$CH = \text{Velocidad (m/min)} \times \left(0.1 \frac{\text{ml de O}_2/\text{kg/min}}{\text{m/min}}\right)$$

- f. Costo/gasto energético (VO_2 ml/kg/min) para el Componente Vertical (CV) requerido para correr/trotar en una banda sinfín:

$$CV = \left[\left(\frac{\% \text{ Elevación}}{100}\right) \times \text{Velocidad (m/min)}\right] \times \left(1.8 \frac{\text{ml de O}_2/\text{kg/min}}{\text{m/min}}\right) \times 0.5$$

- g. Costo energético (VO_2 ml/kg/min) total para correr/trotar a lo largo de una elevación en la banda sinfín:

$$\left[\text{Velocidad (m/min)} \times \left(0.2 \frac{\text{ml/kg/min}}{\text{m/min}}\right)\right] + \left[\left(\frac{\% \text{ Elevación}}{100}\right) \times \text{Velocidad (m/min)}\right] \times \left(1.8 \frac{\text{ml/kg/min}}{\text{m/min}}\right) \times 0.5 + 3.5 \text{ ml/kg/min}$$

3. Cicloergómetro:

a. Requisitos:

Cadencias de trabajo entre 300 kpm/min y 1200 kpm/min.

- b. Costo energético (VO_2 ml de O_2 /kg/min) del Componente de la Resistencia (CR) o de la carga de trabajo (kpm):

$$\text{VO}_2(\text{ml/kg/min por kpm}) \text{ cicloergómetro} = 2 \frac{\text{ml/kg/min}}{\text{kpm}}$$

- c. No existe Componente Horizontal (CH): $CH = 0.0$
- d. Costo/gasto energético (VO_2 ml de O_2 /min) para el Componente de Resistencia (CR) requerido en el cicloergómetro:

$$CR = \text{Cadencia de Trabajo (kpm/min)} \times \left(\frac{2 \text{ ml}}{\text{kpm}} \right)$$

- e. Costo energético en reposo (VO_2 ml de O_2 /kg/min) corregido por el peso corporal (kg) (VO_2 ml de O_2 /min):

$$VO_2 \text{ Reposo Corregido por Peso} = 3.5 \text{ ml de } O_2/\text{kg/min} \times \text{Peso Corporal (kg)}$$

- f. Costo energético (VO_2 ml de O_2 /min) total para el cicloergómetro:

$$VO_2 \text{ (ml/min) Cicloergómetro} = CR + VO_2 \text{ Reposo Corregido po el Peso} =$$

$$\left[\frac{\text{kpm}}{\text{min}} \times \frac{2 \text{ ml de } O_2}{\text{kpm}} \right] + [3.5 \text{ ml de } O_2/\text{kg/min} \times \text{Peso Corporal (kg)}]$$

- g. Costo energetico total en el cicloergómetro relativo al peso corporal (VO_2 ml de O_2 /kg/min):

$$VO_2 \text{ (ml/kg/min por kpm) Cicloergómetro} = \frac{\text{Costo Energético Total en } VO_2 \text{ ml de } O_2/\text{min}}{\text{Peso Corporal (kg)}}$$

XI. EJERCICIOS/PROBLEMAS DE PRACTICA

1. Determine el trabajo realizado al levantar un peso de 53 kilogramos 7 metros de altura (Escriba la fórmula y desgloce el resultado).
2. ¿Cuántos kilogramos equivale a 170 libras? (1 kg = 2.2046 libras).
3. ¿Cuántos kilopondios hay en 40 Newtons? (1 kp = 9.80665 N).
4. Una persona produjo un total de 70 julios de trabajo. ¿A cuanto equivale esto en unidades de kilopondios-metros? (1 kpm = 9.80665 J).

5. Un atleta pesando 145 libras subió en 45 segundos unas escalinatas que tenían 19 pies de altura. ¿Cual fue el trabajo (en kpm) y potencia (en kpm/seg) que realizó este atleta? (1 kg = 2.2046 libras; 1 metro = 3.2808 pies; 1 Pie-Lb = 0.13825 kpm; 1 kpm = 7.2307 pies:Lb; 1 kpm/min = 7.23 pies-Lb/min; kg = kp).(Escriba la fórmula y desgloce el resultado).
6. Durante una prueba de ejercicio, un individuo realizó una potencia de 900 kpm/min. Convierta esto en unidades de Vatios (Watts). (1 kpm/min = 0.16345 W).
7. Determine el trabajo y potencia realizado por un sujeto de 83 kilogramos que sube y baja un banco de 30 cm durante 15 minutos a una cadencia determinada por un metrónomo colocado a 96 latidos por minuto. Utilice las siguientes fórmulas:

$$\text{Trabajo (T}_E\text{)} = \text{Peso (kp)} \left[\frac{\text{Altura E}}{\text{Ciclo}} \times \text{Cadencia Ciclos (} \frac{\text{Ciclos}}{\text{min}} \text{)} \times \text{Duración Prueba (t)} \right] \times 1.33$$

$$\text{Potencia (P}_E\text{)} = \text{Peso (kp)} \left[\frac{\text{Altura E}}{\text{Ciclo}} \times \text{Cadencia Ciclos (} \frac{\text{Ciclos}}{\text{min}} \text{)} \times \text{Duración (t)} \right] \times \frac{1.33}{\text{Duración (t)}}$$

8. Durante una prueba en el cicloergometro Monark, el sujeto estuvo ejercitándose a una resistencia (lectura del péndulo en la escala) de 7.5 kp y a una cadencia determinada por un metrónomo fijado a 100 latidos por minuto. ¿Cual es la potencia producida? (Circunferencia del aro de la Rueda = 6 metros; 1 revolución = 6 metros).
9. Un individuo en una prueba de espirometría en circuito abierto alcanzó un consumo de oxígeno de 4.5 litros por minuto. Determine el gasto calórico (kcal/min) de esta persona (1 litro de O₂ consumido = 5 kcal/Litro). Detalle sus resultados).
10. Una persona de 85 kg obtuvo un consumo de oxígeno de 5 litros/min. ¿Cuanto equivale esto en unidades relativas de:
- VO₂, ml/kg/min
 - METS
 - Kcal/kg/min
- (1 litro = 1000 mililitros; 1 MET = 3.5 ml/kg/min; 1 MET = 1 kcal/kg/hr)

11. El gasto calórico relativo total de una persona fue 15 METS ¿A cuanto equivale esto en VO_2 , ml/kg/min?
12. Una persona de 65 kg se encuentra ejercitandose a una intensidad equivalente a 17 kcal/min. Expresa esto en METS.
13. Un individuo pesando 87 kilogramos esta corriendo a un gasto energetico de 8 METS. Expresa esto en kcal/min.
14. Una persona de 80 kg trabajó durante 30 min a un promedio de 8 METS. ¿Cuántas calorías gastó?
15. ¿Cual es el costo energético (expresado en VO_2 , ml/kg/min y en METS) para una persona de 154 libras en las siguientes condiciones? (1 kg = 2.2 lbs, 1 milla/hora = 26.8 m/min):
 - a. Caminando sobre una superficie horizontal a una velocidad de 2 millas por hora.
 - b. Caminando en una banda sinfín a 1.9 millas por hora y a una elevación de 12%.
 - c. Corriendo sobre una banda sinfín a 7.5 millas por hora y a una elevación de 4%.
 - d. Ejercitandose en un cicloergómetro a 950 kpm/min.

XII. REFERENCIAS

1. American College of Sports Medicine. *Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 4ta. ed.; Philadelphia: Lea & Febiger, 1991. Págs. 285-300.
2. Brooks, George A. y Thomas D. Fahey. *Exercise Physiology: Human Bioenergetics and its Applications*. New York: Macmillan Publishing Company, 1985. Págs. 35-55.
3. Burke, Edmund J. y Ernest D. Michael. *Laboratory Experiments in Exercise Physiology*. 2da. ed.; Ithaca, N.Y.: Movement Publications, 1990. Págs. 171-177.
4. De Vries, Herbert A. *Physiology of Exercise: for Physical Education and Athletics*. 4ta. ed.; Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers, 1986. Págs. 209 -235.
5. Fox, Edward L., Richard W. Bowers y Merle L. Foss. *The Physiological Basis for Exercise and Sport*. 5ta. ed.; Wisconsin: WCB Brown & Benchmark Publishers, 1993. Págs. 64-91.

6. Howley, Edward T. y B. Don Franks. *Health/Fitness Instructor's Handbook*. 2da. ed, Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers, Inc., 1992. Págs. 131-151.
7. Lamb, David R. *Physiology of Exercise: Responses & Adaptations*. 2da.ed.; New York: Macmillan Publishing Company, 1984. Págs. 99- 113, 173-190, 416-417.
8. McArdle, William D., Frank I. Katch y Victor L. Katch. *Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance*. 3ra. ed.; Philadelphia: Lea & Febiger, 1991. Págs. 158-173, 199-232.
9. McArdle, William D., Frank I. Katch y Victor L. Katch. *Essentials of Exercise Physiology*. Philadelphia: Lea & Febiger, 1994. Págs.78-113.
10. Morehouse, Laurence E. *Laboratory Manual for Physiology of Exercise*. Saint Louis: The C.V. Mosby Company, 1972. Págs. 122-159.
11. Nieman, David C. *Fitness and Sports Medicine: An Introduction*. Ed. Rev., Palo Alto, CA: Bull Publishing Company, 1990. 600 págs.
12. Powers, Scott K. y Edward T. Howley. *Exercise Physiology: Theory and Applications*. 2da. ed.; Dubuque, I.A.: Wm. C. Brown Publishers, 1994. Págs. 109-123.
13. Shepard, Roy, J. *Exercise Physiology*. Philadelphia: B.C. Decker, Inc., 1987. Págs. 9-19.
14. Wilmore, Jack H. y David L. Costill. *Physiology of Sport and Exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics Pub., 1994. Págs. 11-15, 104-114.