

VOLUMEN DE OXÍGENO CONSUMIDO



**Preparado por:
Prof. Edgar Lopategui Corsino
MA, Fisiología del Ejercicio**



Saludmed 2016, por [Edgar Lopategui Corsino](#), se encuentra bajo una licencia "[Creative Commons](#)", de tipo: [Reconocimiento-NoComercial-Sin Obras Derivadas 3.0. Licencia de Puerto Rico](#). Basado en las páginas publicadas para el sitio Web: www.saludmed.com.

A photograph of a man and a woman running on treadmills in a gym. The man is in the foreground, wearing a white tank top and blue shorts, smiling. The woman is behind him, also wearing a white tank top and smiling. The background shows a bright, modern gym with large windows and a water dispenser.

CAPACIDA AERÓBICA

PRUEBAS ERGOMÉTRICAS



NOTA. Foto reproducida de: *Physiology of Sport and Exercise*. (p. 2), por J. H. Wilmore, & D. L. Costill, 1994, Champaign, IL: Human Kinetics. Copyright 1994 por Jack H. Wilmore y David L. Costill.



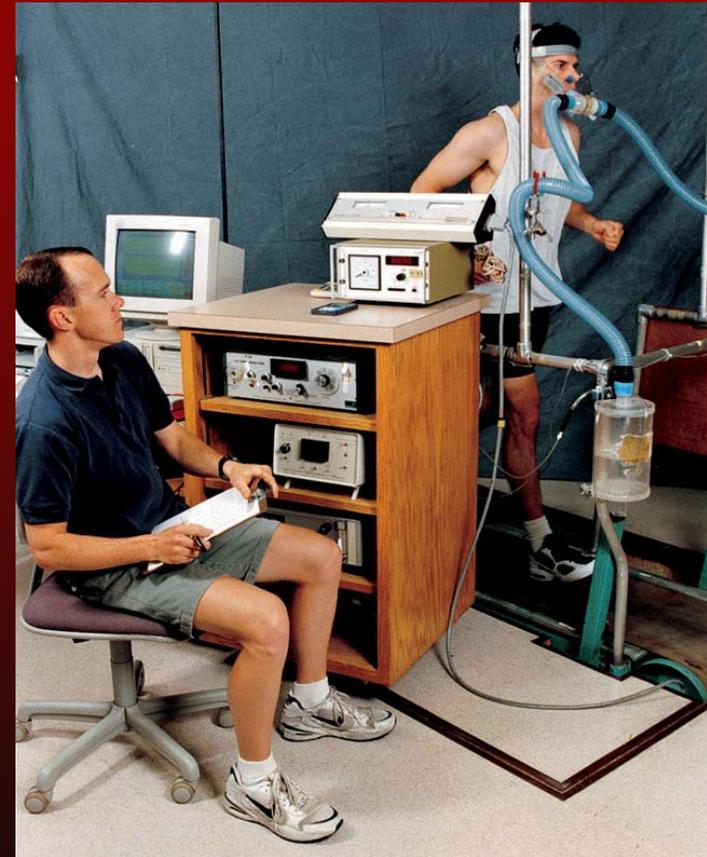
PRUEBA EKG DE ESFUERZO

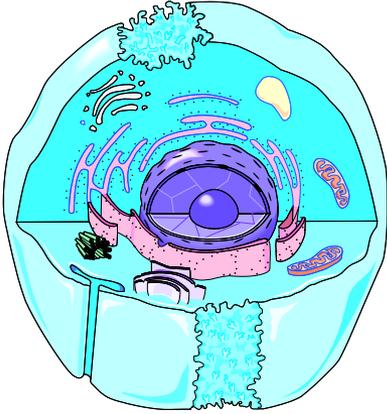
CONSUMO DE OXÍGENO MÁXIMO (VO_2 máx)

↓
CALORIMETRÍA INDIRECTA: Calorímetro

↓
Sistema de
Espirimetría en Circuito Abierto

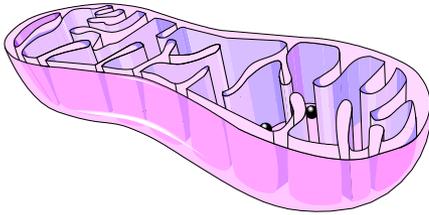
MEDICIÓN DEL
INTERCAMBIO
RESPIRATORIO
DE GASES





**CONSUMO DE OXÍGENO
(VO₂)**

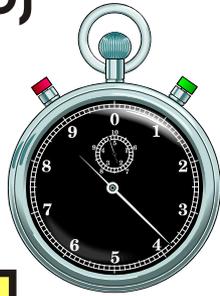
**Volumen de Oxígeno Utilizado
por
Mitocondrias
(Organelos dentro Células del Cuerpo)**



Durante Intervalos de:

1 Minuto

A Nivel del Mar:

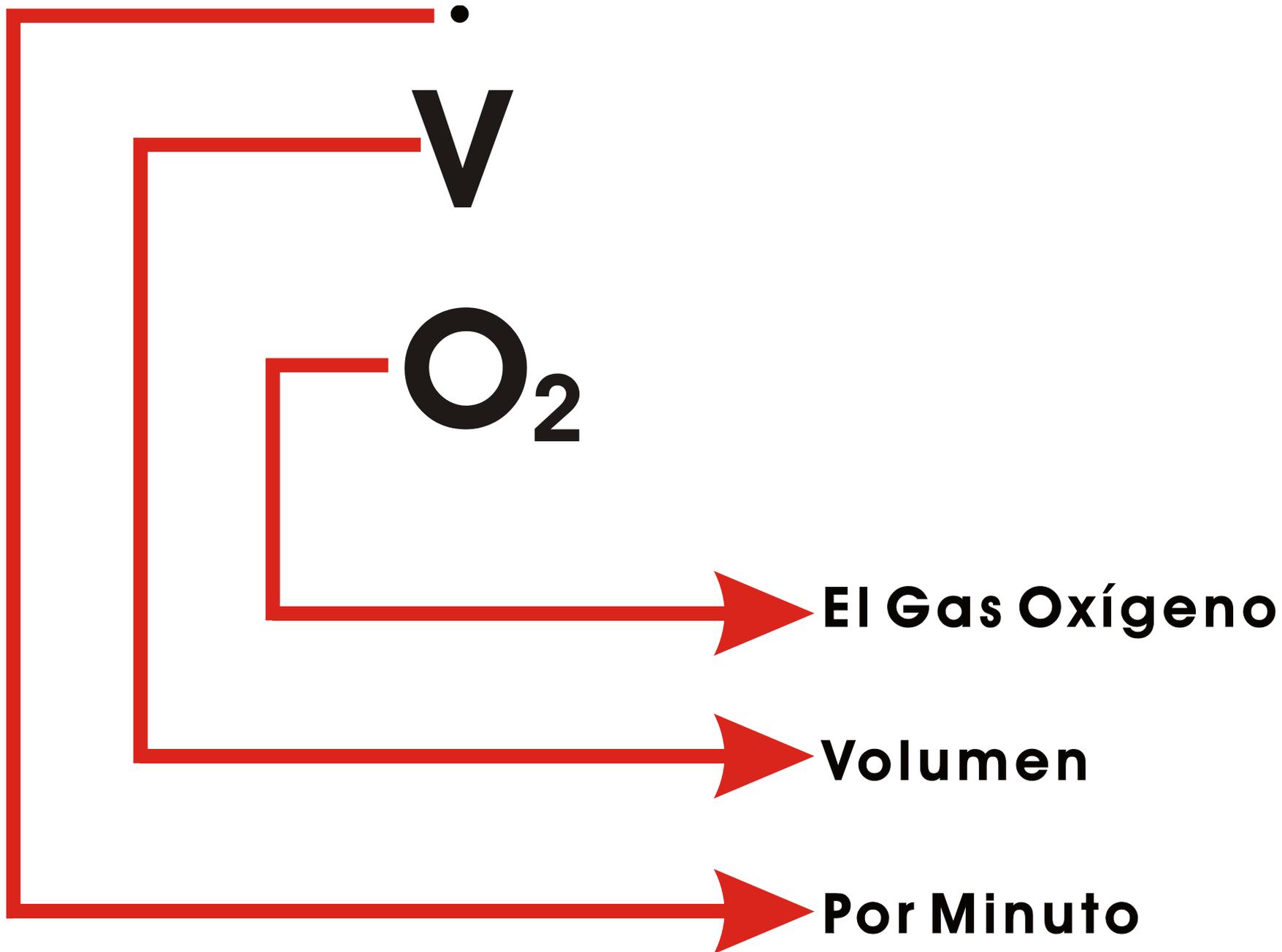


**CONDICIONES ESTANDARIZADAS
(STPD)**

**Temperatura (T)
(273°K ó 0°C)**

**Presión Barométrica (PB)
(70 mm Hg ó 1 ATA)**

**Humedad Relativa (HR)
(Seco, 0% HR,
Ausencia Vapor de Agua)**



CONSUMO DE OXÍGENO MÁXIMO ($\dot{V}O_2$ máx)

CONSUMO DE OXÍGENO MÁXIMO
($\dot{V}O_2$ máx)

Volumen de O_2
que puede ser
Transportado y Utilizado
Durante un
Ejercicio Máximo
al Nivel del Mar

Utilidad/Importancia

El Mejor Indicador/Medición de la
Tolerancia Cardiorespiratoria Máxima
(Capacidad Aeróbica)

Impone Demanda
en las Funciones de los
Sistemas

Pulmonar

Cardiocirculatorio

*Enzimático
Encargado de la
Respiración Celular
vía Procesos
Oxidativos*

CAPACIDAD MÁXIMA PARA EL EJERCICIO

CONSUMO ENERGÉTICO
(USO DE LA ENERGÍA)

Prueba de Esfuerzo/Ergométrica

↑ **Potencia Ergométrica (Intensidad)**
de forma **Progresiva**

↑ **Metabolismo**

↑ **$\dot{V}O_2$**

*Sujeto se Detiene
Por Síntomas*

$\dot{V}O_2$ máx
Limitado a Síntomas

*Sujeto no Puede más
y no hay
Estabilización del $\dot{V}O_2$*

*Sujeto se Detiene
Por Síntomas*

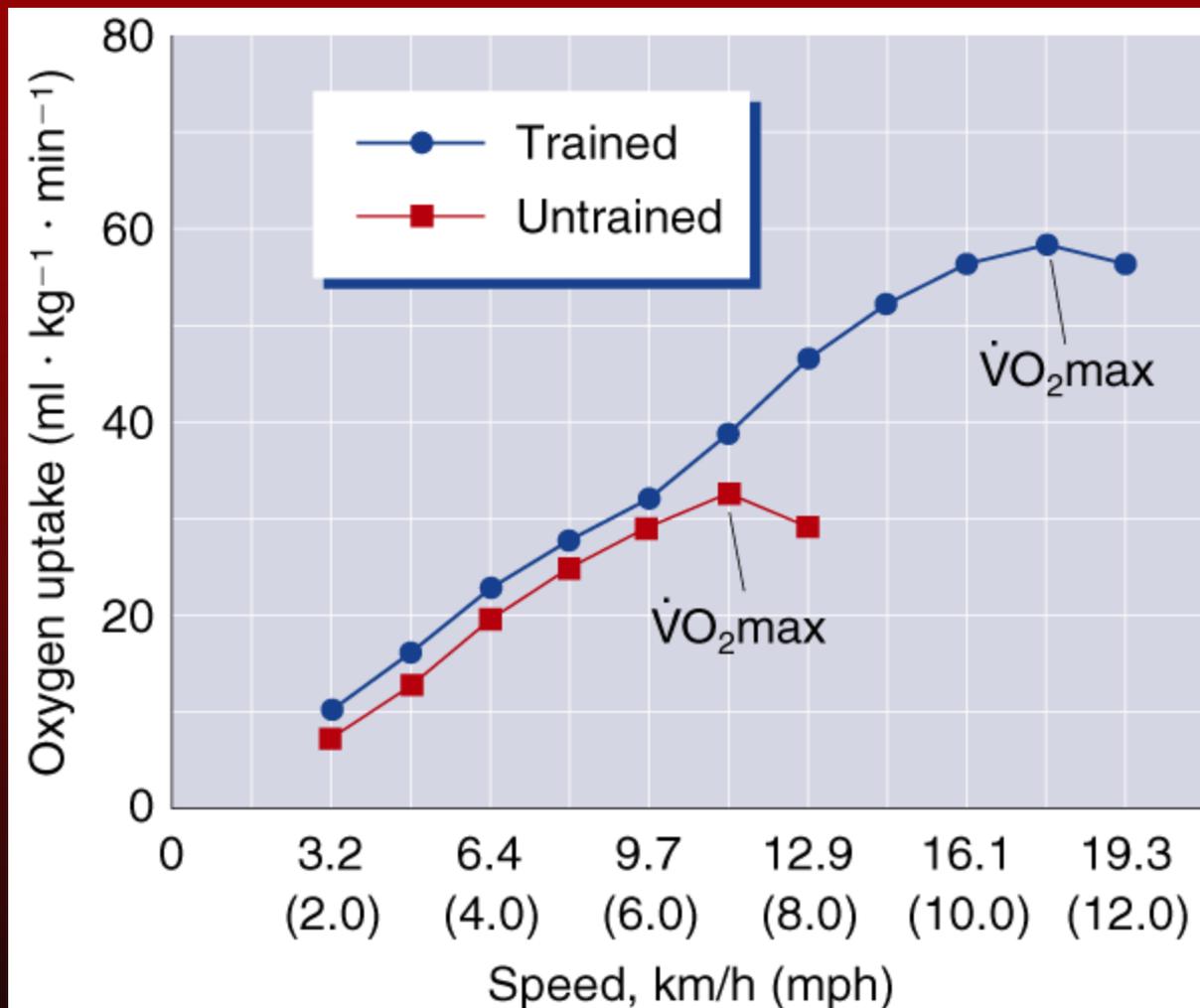
$\dot{V}O_2$ pico

$\dot{V}O_2$ se Estabiliza

$\dot{V}O_2$ máx
(Capacidad Aeróbica)

**Límite Máximo para
Incrementar el $\dot{V}O_2$**

INTENSIDAD DEL EJERCICIO Y EL CONSUMO DE OXÍGENO



CONSUMO DE OXÍGENO MÁXIMO ($\dot{V}O_2$ máx)

CONSUMO DE OXÍGENO MÁXIMO ($\dot{V}O_2$ máx)

FORMAS DE EXPRESARSE (VALORES)

RELATIVO

En relación a la
Masa Corporal (MC):

Militilitros de
Oxígeno Consumido
por Kilogramos de la
Masa Corporal por Minuto
($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)

ABSOLUTO

NO Considera la
Masa Corporal (MC):

Litros de
Oxígeno Consumido
por Minuto
($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)

CONSUMO DE OXÍGENO MÁXIMO ($\dot{V}O_2$ máx)

CONSUMO DE OXÍGENO MÁXIMO ($\dot{V}O_2$ máx)

Valores Promedios/Medios (RELATIVOS)

**Estudiantes
Universitarios
Activos**

(entre)

18 y 22 años

Mujeres

(entre)

**38 y 42
mL · kg⁻¹ · min⁻¹**

Varones

(entre)

**44 y 50
mL · kg⁻¹ · min⁻¹**

**Adultos
poco
Entrenados**

↓ 20 mL · kg⁻¹ · min⁻¹

**Población
Sedentaria**

(Pasada la edad entre)

25 y 30 años

**↓ $\dot{V}O_2$ máx
≈ 1% por año**

Causas

**Envejecimiento
Biológico**

**Estilos de Vida
Sedentario**

ERGOMETRÍA:

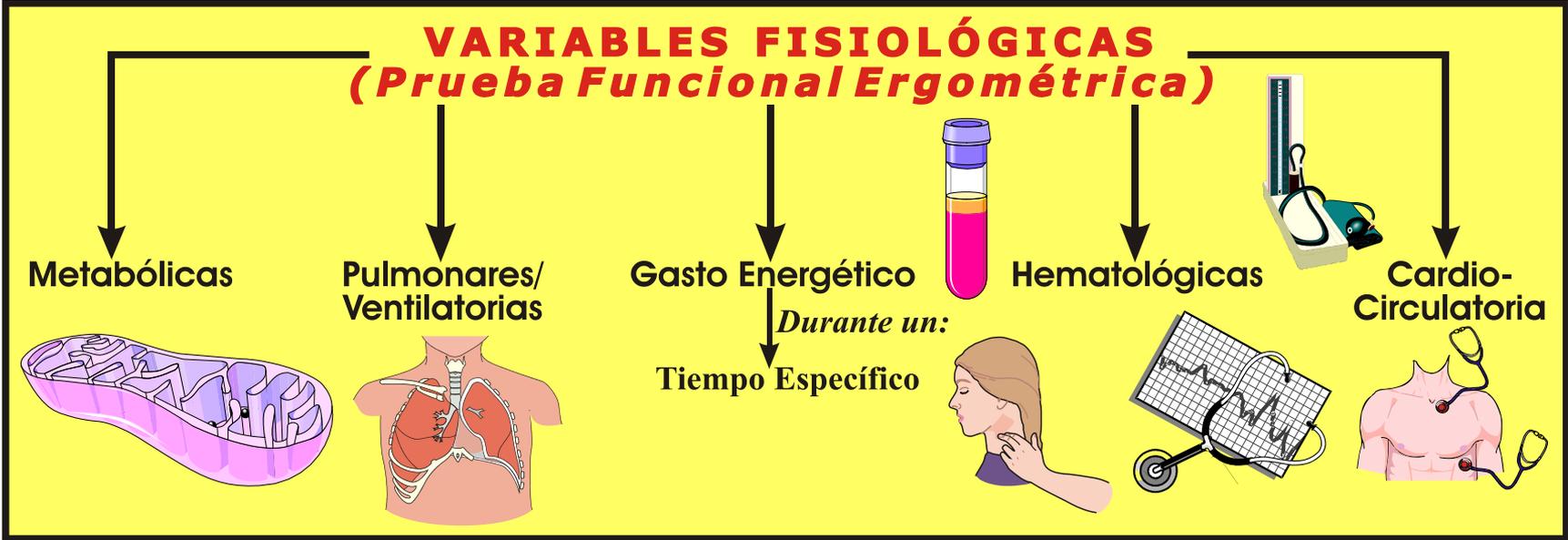
Utilización de Ergómetros

Ergómetro
(Ergo = Trabajo; Metro = Medida)

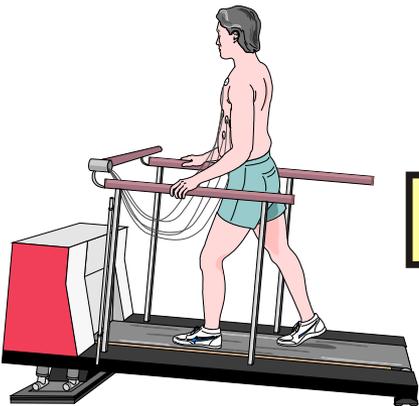
Instrumento de ejercicio que permite controlar (estandarizar) y medir la intensidad y ritmo del esfuerzo físico de una persona



Donde se evalúan:



ERGOMETRÍA



Prueba Funcional Ergométrica

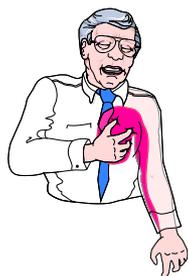
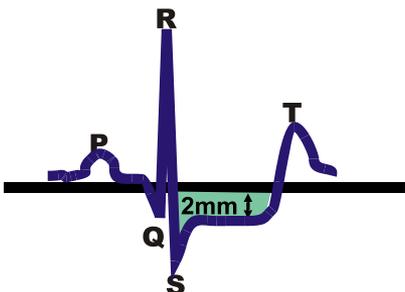


Determinación de parámetros de

RENDIMIENTO
PULMONAR

INDICACIONES

Diagnóstico
(Confirmar Enfermedad)



Evaluativas
(Capacidad Funcional)

Objetivos

Prescripción
de
Ejercicio

Diseño
Entrenamiento Físico
para Atletas

Evaluar la
Efectividad del
Entrenamiento
Deportivo

Investigativo
(Estudio Respuestas Funcionales/Fisiológicas)



ERGOMETRÍA:

Utilización de Ergómetros

Tipos de Ergómetros: Utilizados en Ambiente Aire

- **Cicloergómetros**
- **Bandas sinfín ergométricas**
- **Escalones/banco**
- **Ergómetro de esquí de campo traviesa**
- **Remoergómetro**
- **Bancos de natación (convencional y de natación simulada)**

ERGÓMETRO

Artefacto

Mide Respuestas Fisiológicas, particularmente:

Trabajo Mecánico
y
Potencia Ergométrica

TIPOS

AMBIENTE AIRE

Cicloergómetro

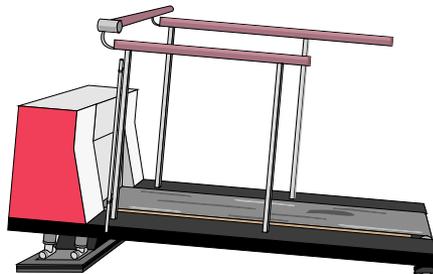


Escalón



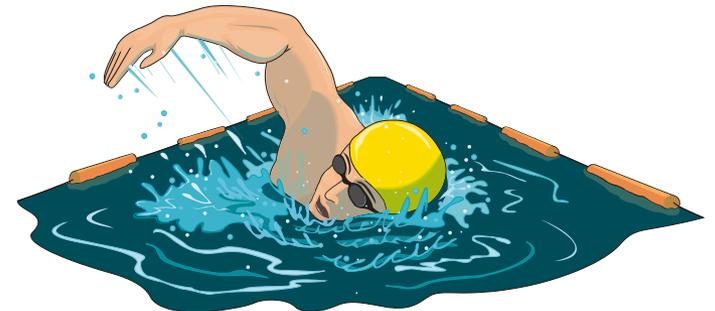
Remo-
Ergómetro

Banda Sinfín



AMBIENTE AGUA

Ergómetro de Brida
(Natación Estática)



Canal de Natación

ERGOMETRÍA:

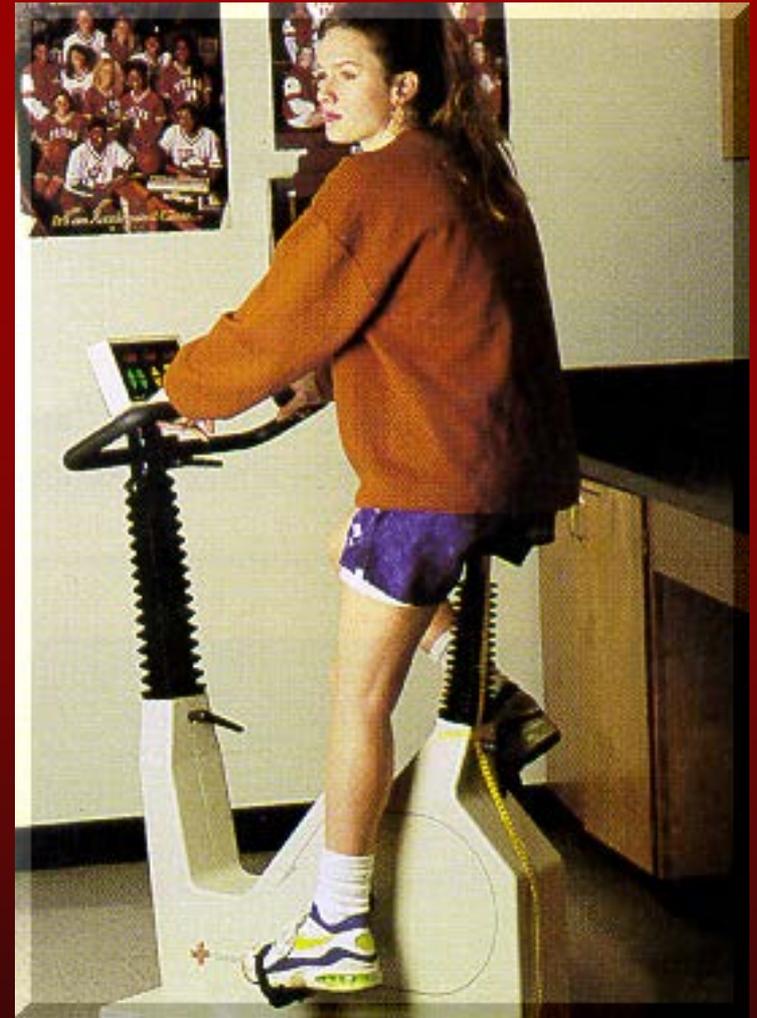
Utilización de Ergómetros - TIPOS

Cicloergómetros

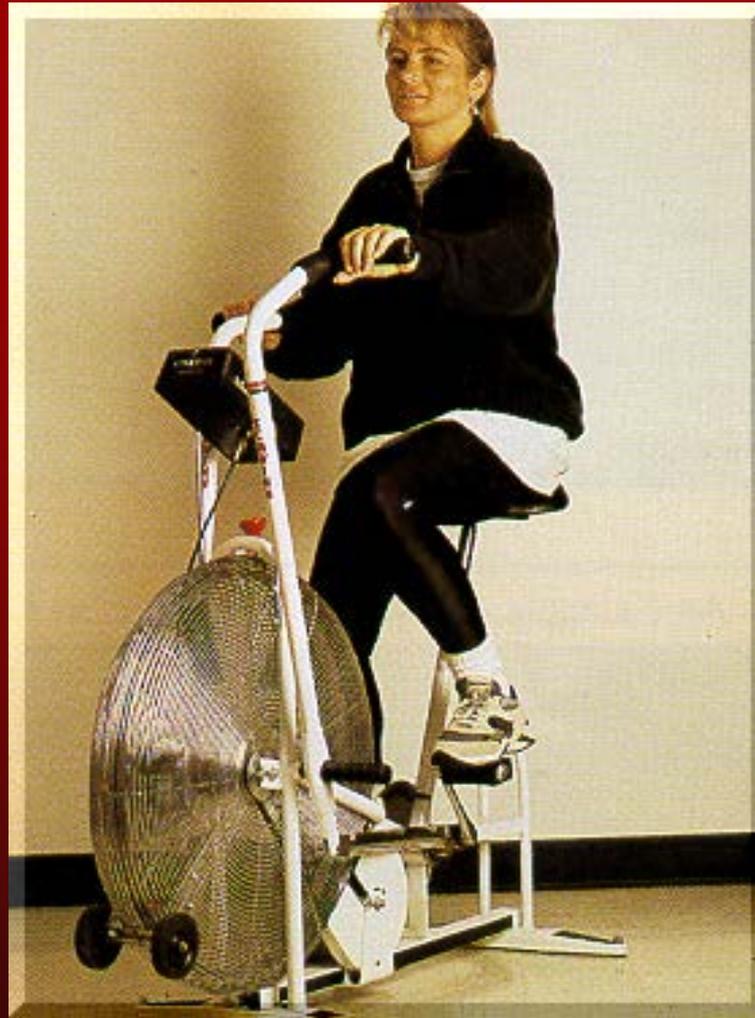
- **Tipos de Resistencias que Emplean los Cicloergómetro:**
 - » Fricción mecánica
 - » Resistencia eléctrica
 - » Resistencia del aire
 - » Resistencia de un líquido hidráulico

Cicloergómetro: Ventajas

- ♦ Facilita la medición de la presión arterial y la toma muestra sanguíneas porque el cuerpo superior se encuentra relativamente inmóvil
- ♦ Los resultados no se afectan significativamente por la masa (peso) corporal o por cambios en ésta

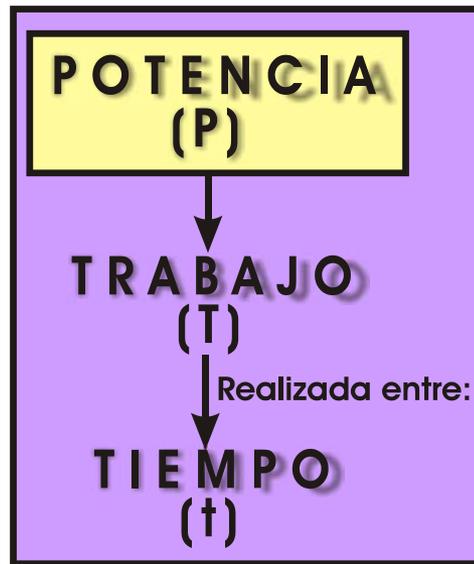


Un Cicloergómetro



Cicloergómetro con resistencia (freno) de aire

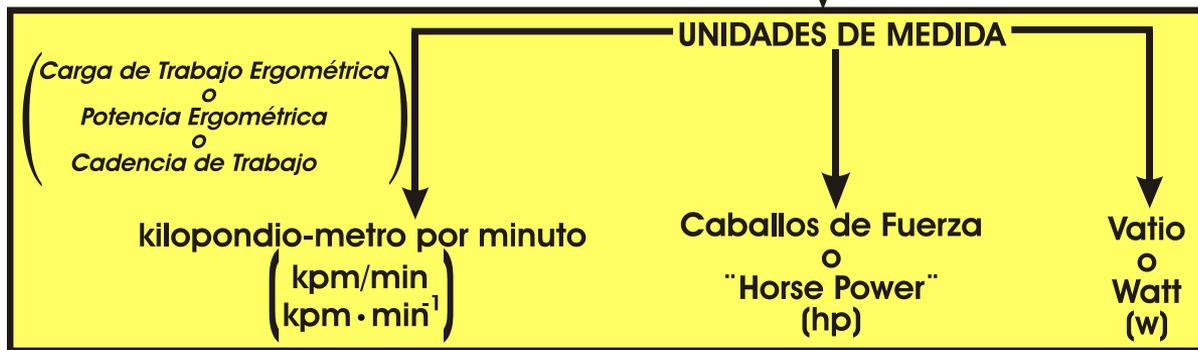
NOTA. Foto reproducida de: *Physiology of Sport and Exercise*. (p. 12), por J. H. Wilmore, & D. L. Costill, 1994, Champaign, IL: Human Kinetics. Copyright 1994 por Jack H. Wilmore y David L. Costill.

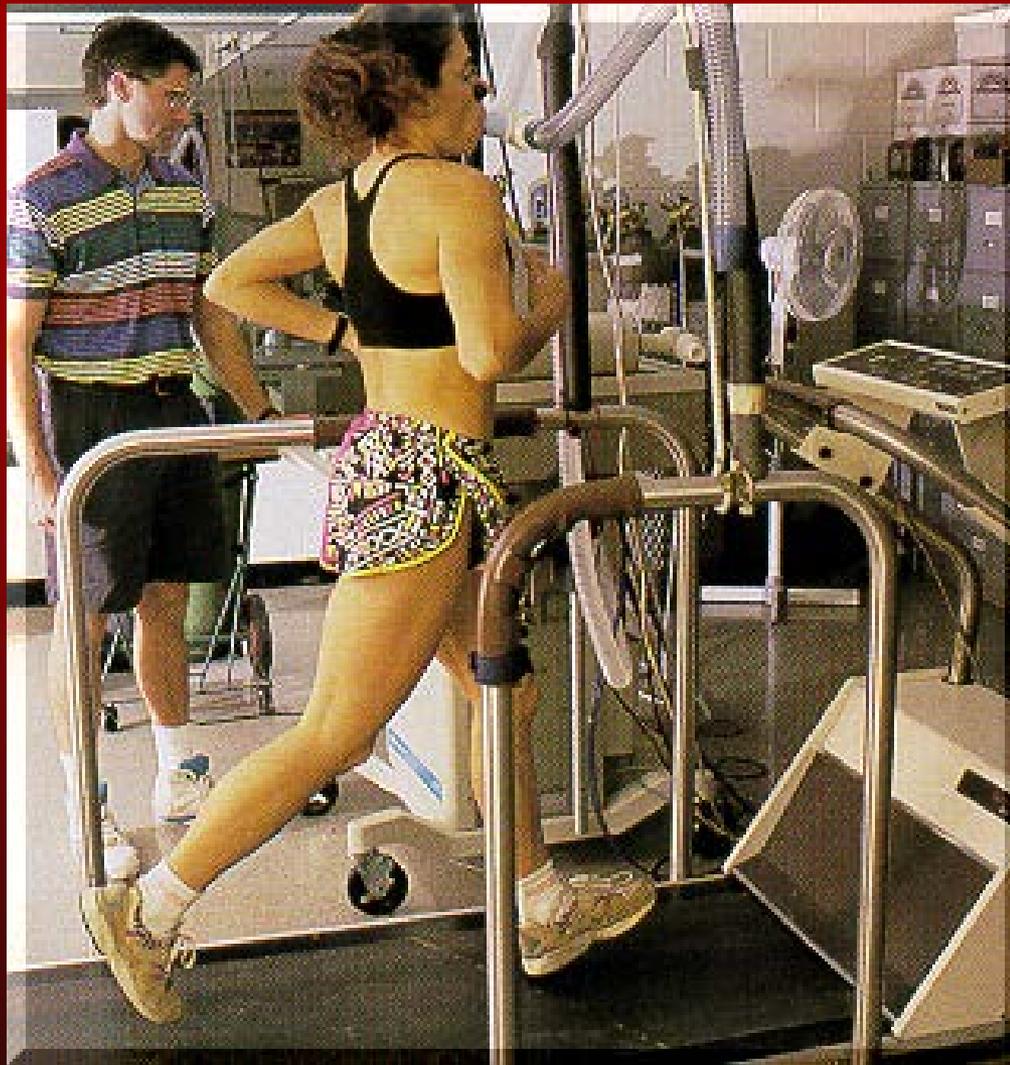


Ecuación:

FÓRMULA:

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





Una banda sinfín

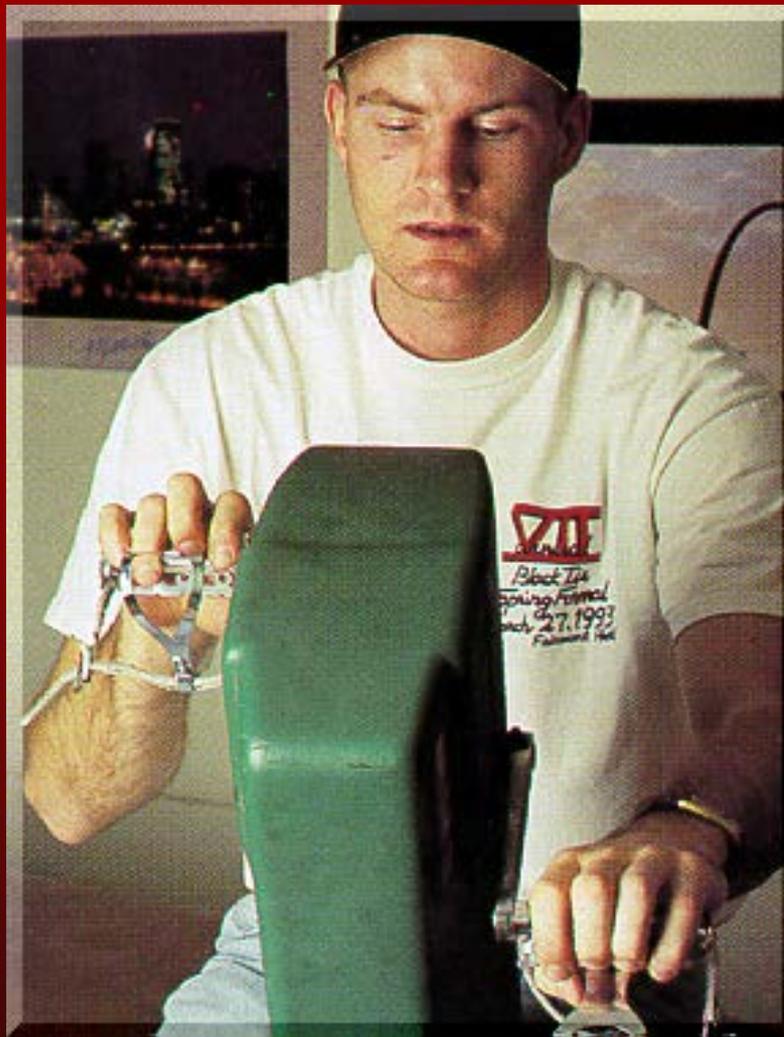
NOTA. Foto reproducida de: *Physiology of Sport and Exercise*. (p. 13), por J. H. Wilmore, & D. L. Costill, 1994, Champaign, IL: Human Kinetics. Copyright 1994 por Jack H. Wilmore y David L. Costill.

ERGOMETRÍA:

Utilización de Ergómetros

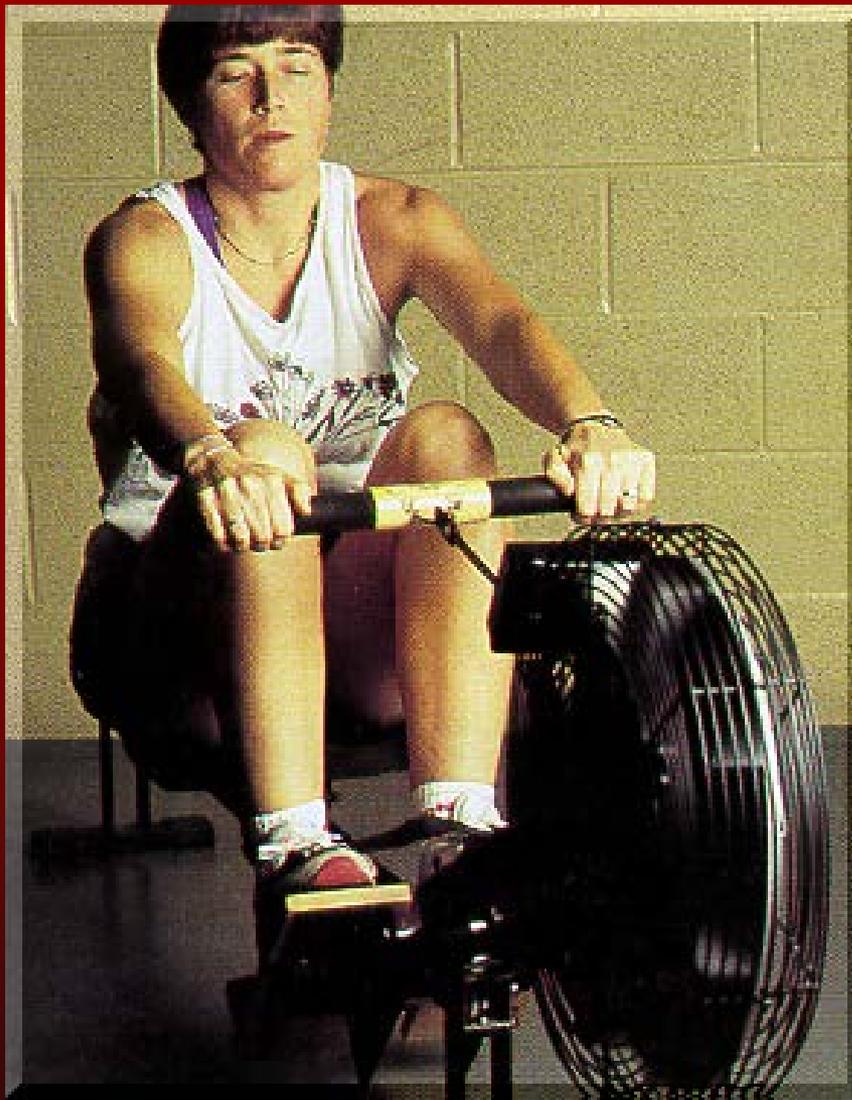
Tipos de Ergómetros: Utilizados en Ambiente Agua

- **Ergómetros Específicos para Deportes:**
 - » *Ergómetros para los brazos*
 - » *Remoergómetro*
 - » *Ergómetro de “Winsurf”*



Ergómetro para Brazos

NOTA. Foto reproducida de: *Physiology of Sport and Exercise*. (p. 14), por J. H. Wilmore, & D. L. Costill, 1994, Champaign, IL: Human Kinetics. Copyright 1994 por Jack H. Wilmore y David L. Costill.



Ergómetro para Remar

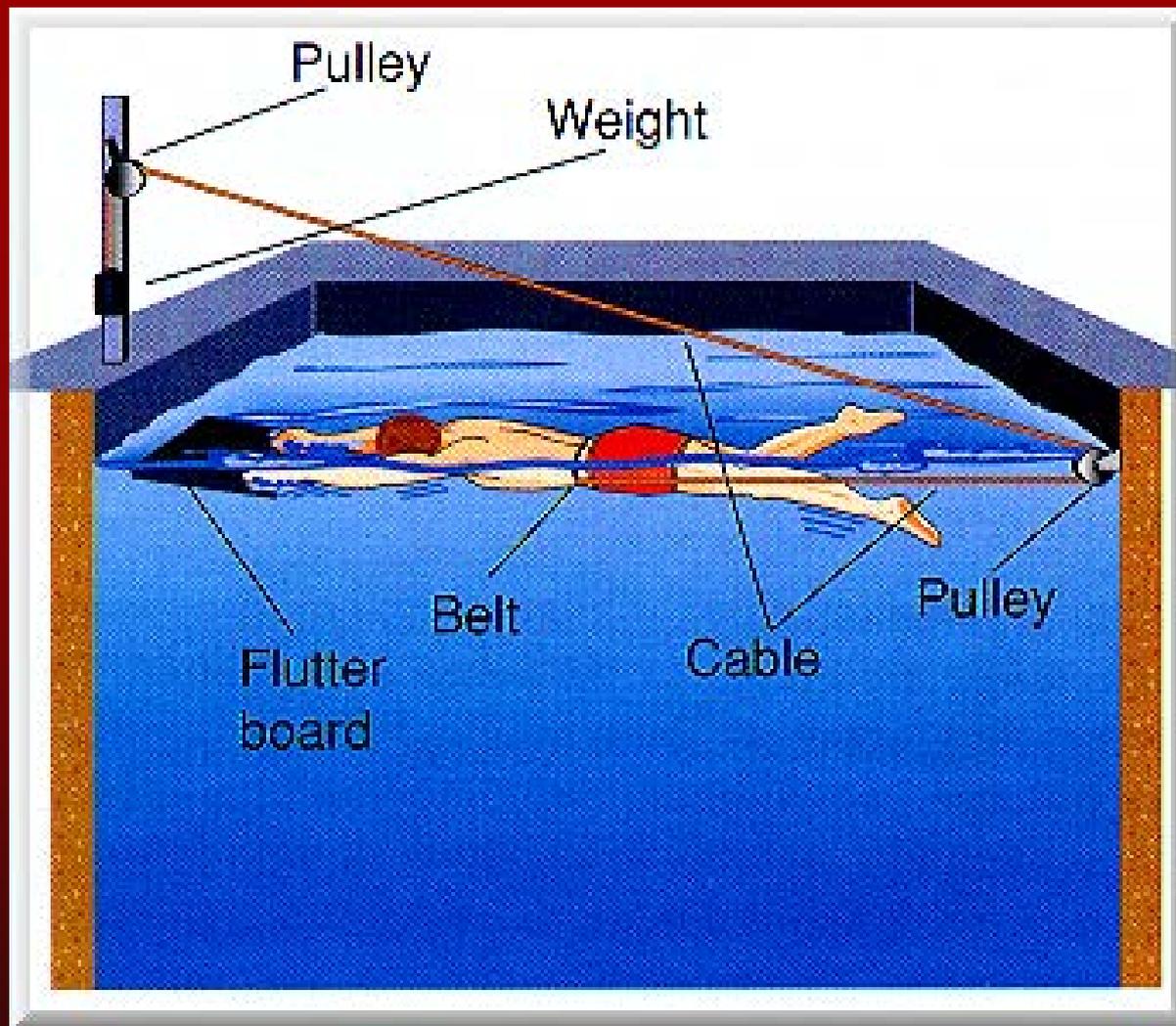
NOTA. Foto reproducida de: *Physiology of Sport and Exercise*. (p. 14), por J. H. Wilmore, & D. L. Costill, 1994, Champaign, IL: Human Kinetics. Copyright 1994 por Jack H. Wilmore y David L. Costill.

ERGOMETRÍA:

Utilización de Ergómetros

Tipos de Ergómetros: Utilizados en Ambiente Agua

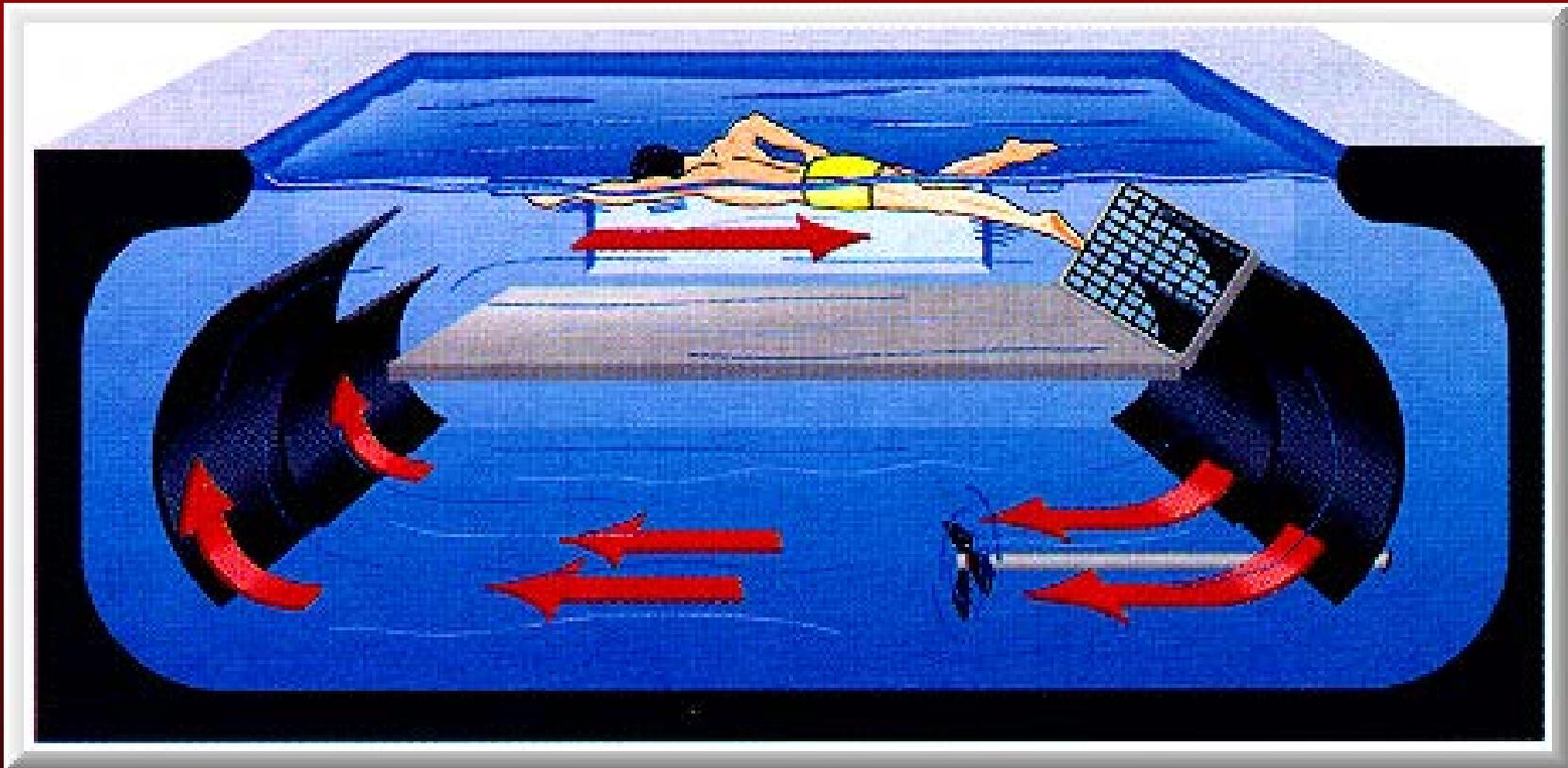
- Ergómetro de brida o natación estática (natación sujeta)
- Canal de natación (piscina con flujo)
- Piscina ergómetro (natación libre)



Ergómetro de Brida o Natación Estática

NOTA. Foto reproducida de: *Physiology of Sport and Exercise*. (p. 14), por J. H. Wilmore, & D. L. Costill, 1994, Champaign, IL: Human Kinetics. Copyright 1994 por Jack H. Wilmore y David L. Costill.

Canal de Natación (Piscina con Flujo)



Permite a los nadadores simular con gran precisión sus brazadas naturales de natación mientras los investigadores recolectan los datos

MEDICIÓN DEL COSTO ENERGÉTICO DEL EJERCICIO

CALORIMETRÍA INDIRECTA



Equivalencia Energética/Calórica del

$\dot{V}O_2$



**Utilizado para la Oxidación de los
Sustratos (CHO y GRASAS)**



(Se estima que)

**1 Litro de O_2 Consumido por Minuto
($\dot{V}O_2$, L/min = 1.0)**

Equivale Aproximadamente a:



(Equivalencia Energética/Calórica)

5 kcal/min

MEDICIÓN DEL COSTO ENERGÉTICO DEL EJERCICIO

CALORIMETRÍA INDIRECTA

Calorímetro

Sistema de
Espirometría en Circuito Abierto

Medición del Volumen de

CO_2 (Producido) O_2 (Utilizado)

Intercambio Respiratorio
de
Gases

RELACIÓN (R) O PROPORCIÓN
($R = VCO_2$ liberado/ VO_2 Consumido)

MEDICIÓN DEL COSTO ENERGÉTICO DEL EJERCICIO

CALORIMETRÍA INDIRECTA

Sistema de: *Calorímetro*

Espirometría en Circuito Abierto



Para Determinar el $\dot{V}CO_2$ y el $\dot{V}O_2$

(Se Calcula)

**PROPORCIÓN DEL
INTERCAMBIO RESPIRATORIO (R)**

COCIENTE RESPIRATORIO (CR)

MEDICIÓN DEL COSTO ENERGÉTICO DEL EJERCICIO

$\dot{V}O_2$ —volumen de O_2 consumido por minuto (L/min).

$\dot{V}CO_2$ —volumen de CO_2 producido por minuto (L/min).

$$\dot{V}O_2 = (\dot{V}_I \times F_{IO_2}) - (\dot{V}_E \times F_{EO_2})$$

$$\dot{V}CO_2 = (\dot{V}_E \times F_{ECO_2}) - (\dot{V}_I \times F_{ICO_2})$$

Donde \dot{V}_E = ventilation expirada; \dot{V}_I = ventilation inspirada; F_{IO_2} = fracción del oxígeno inspirado; F_{ICO_2} = fracción del bióxido de carbon inspirado; F_{EO_2} = fracción del oxígeno expirado; y F_{ECO_2} = fracción del bióxido de carbono expirado.

TRANSFORMACIÓN DE HALDANE

Tú puedes usar el \dot{V}_E para calcular \dot{V}_I dado que el volumen del nitrógeno expirado es constante:

$$\dot{V}_I = (\dot{V}_E \times F_{E N_2}) / F_{I N_2} \text{ y } F_{E N_2} = 1 - (F_{E O_2} + F_{E CO_2})$$

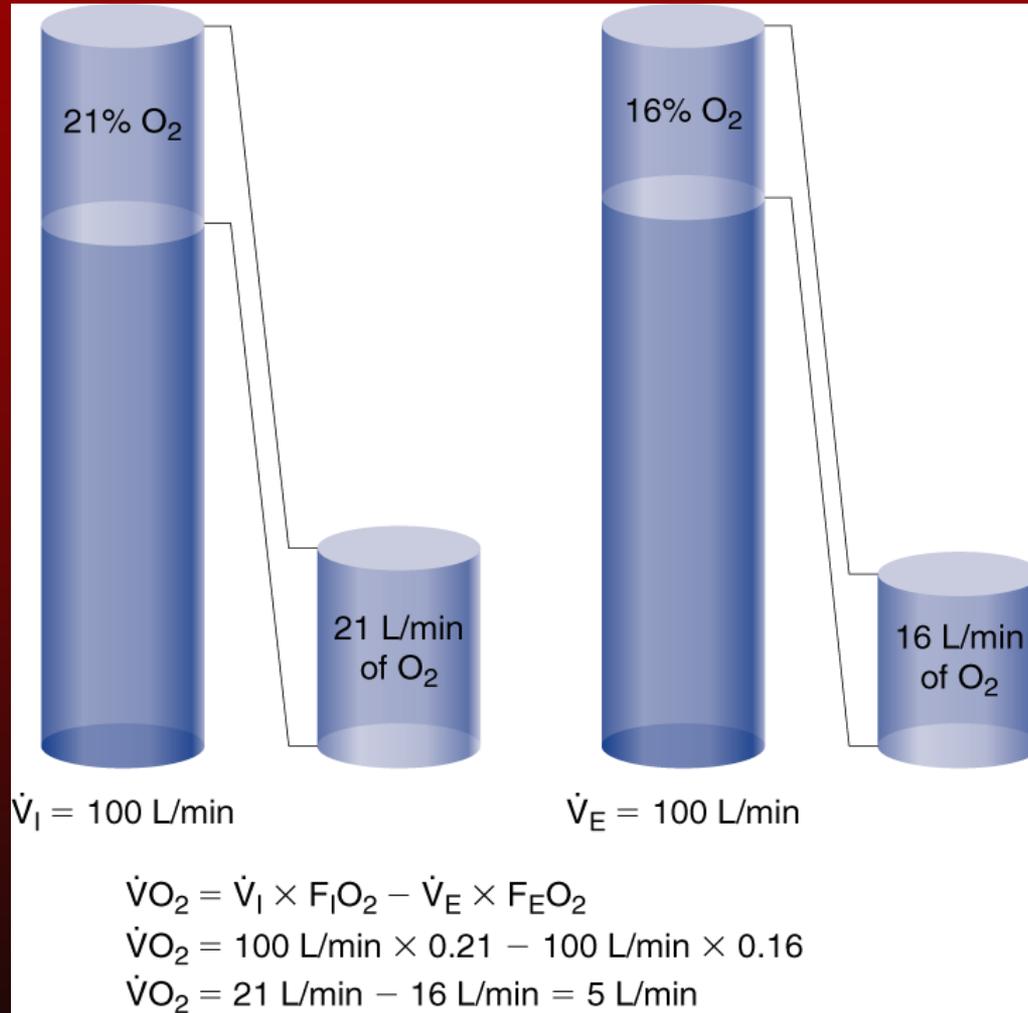
$$\dot{V}O_2 = (\dot{V}_I \times F_{I O_2}) - (\dot{V}_E \times F_{E O_2})$$

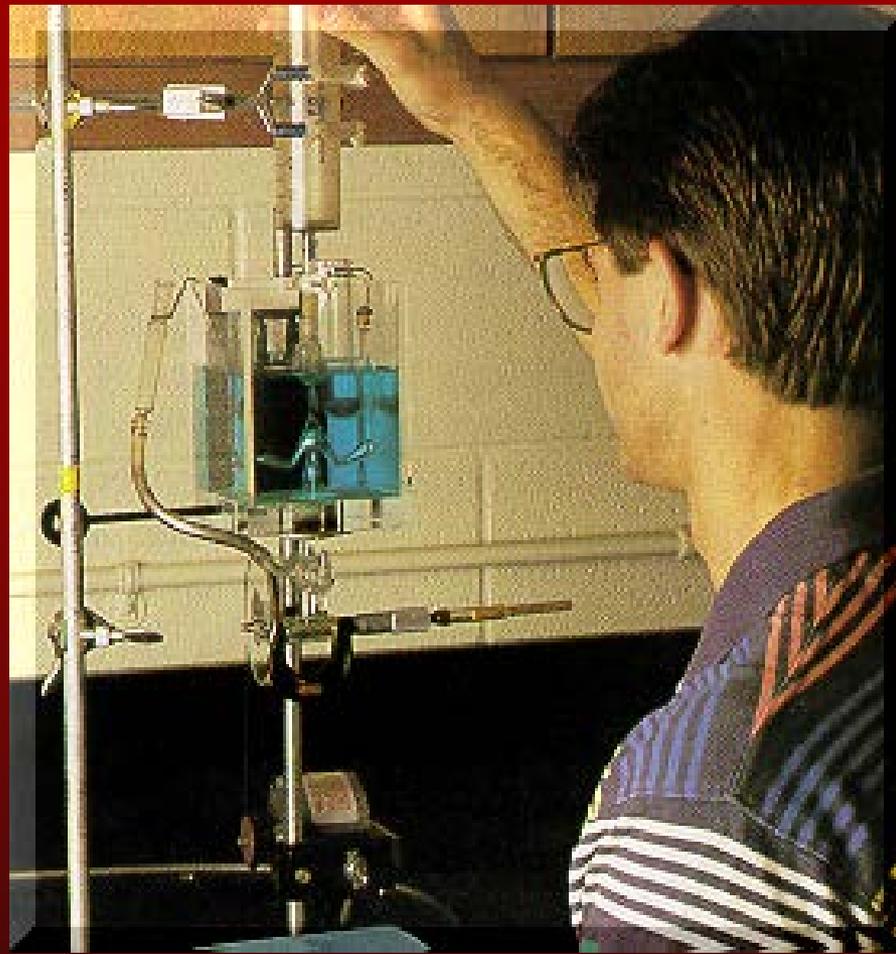
$$\dot{V}O_2 = [(\dot{V}_E \times F_{E N_2}) / (F_{I N_2} \times F_{I O_2})] - (\dot{V}_E \times F_{E O_2})$$

Luego substituye los valores conocidos por el $F_{I O_2}$ de 0.2093 y el $F_{I N_2}$ de 0.7903:

$$\dot{V}O_2 = (\dot{V}_E \times \{[(1 - (F_{E O_2} + F_{E CO_2})) \times 0.265] - F_{E O_2}\})$$

CALCULANDO EL CONSUMO DE OXÍGENO





El analizador de gases *Per Scholander*

NOTA. Foto reproducida de: *Physiology of Sport and Exercise*. (p. 8), por J. H. Wilmore, & D. L. Costill, 1994, Champaign, IL: Human Kinetics. Copyright 1994 por Jack H. Wilmore y David L. Costill.

PROPORCIÓN DEL INTERCAMBIO RESPIRATORIO

- ♦ La proporción entre el CO₂ liberado ($\dot{V}CO_2$) y el oxígeno consumido ($\dot{V}O_2$)
- ♦ $RER = \dot{V}CO_2 / \dot{V}O_2$
- ♦ El valor de la RER en reposo es usualmente de 0.78 a 0.80
- ♦ El valor de la RER puede ser utilizada para determinar el sustrato metabólico usado en reposo y durante el ejercicio, donde un valor de 1.00 indica la oxidación de CHO y 0.70 indica que se oxidan las grasas.

MEDICIÓN DEL COSTO ENERGÉTICO DEL EJERCICIO

CALORIMETRÍA INDIRECTA

Relación de Intercambio Respiratorio (R)
(Proporción del Intercambio Respiratorio o Cociente Respiratorio [CR])

$\dot{V}CO_2$ Producido / $\dot{V}O_2$ Consumido

Determina

Tipo de Nutriente/Sustrato Metabolizado



En las Células/Fibras Musculares

MEDICIÓN DEL COSTO ENERGÉTICO DEL EJERCICIO

CALORIMETRÍA INDIRECTA

Relación de Intercambio Respiratorio (R)

$\dot{V}CO_2$ Producido / $\dot{V}O_2$ Consumido

Determina

Tipo de Sustrato Oxidado

(En Fibras Musculares)

**NUTRIENTES
ESPECÍFICOS**

ALCOHOL

AYUNO/INANICIÓN

MEZCLA/DIETA MIXTA
Combinación de

CHO

Grasas

Proteínas

CHO

Grasas

Proteínas

PROPORCIÓN DEL INTERCAMBIO RESPIRATORIO (R ó RER) o COCIENTE RESPIRATORIO (CR)



Equivalentes Energéticos

CALORIMETRÍA INDIRECTA kcal: 1 Litro de Oxígeno		Contribución Relativa de los Sustratos Oxidados		
R ó CR	Valor Calórico (Kcal/ L O ₂)	CHO (%)	Grasas (%)	Proteínas (%)
1.00	5.047	100	0	0
0.85	4.862	50	50	0
0.70	4.686	0	100	0
	4.485	0	0	100

→ 4.863 → Dieta Mixta

→ 4.86 → Alcohol

→ 4.70 → Inanición (Ayuno)

Equivalencia Calórica de la Proporción del Intercambio Respiratorio (RER) y el % de kcal derivado de los Hidratos de Carbono y Grasas

RER	Energía	% kcal	
	kcal/L O ₂	Hidratos de Carbono	Grasas
0.71	4.69	0.0	100.0
0.75	4.74	15.6	84.4
0.80	4.80	33.4	66.6
0.85	4.86	50.7	49.3
0.90	4.92	67.5	32.5
0.95	4.99	84.0	16.0
1.00	5.05	100.0	0.0

Medición del Costo Energético del Ejercicio

ESTIMACIÓN



1 L O₂ consumido/min \approx 5 kcal/L

GASTO CALÓRICO

Formas de

Expresión

Medidas ABSOLUTAS

$\dot{V}O_2$

$L \cdot \text{min}^{-1}$

$\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$

kcal

$\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$

Medidas RELATIVAS

$\dot{V}O_2$

$\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

METS

kcal

$\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

TASA METABÓLICA BASAL (TMB)

Energía
($\dot{V}O_2$)

Requerida para mantener:

Procesos Vitales
Organismo Humano

En estado de:

REPOSO
(BASAL)

Relajado

Despierto

Luego de:

12-14 horas
Última Comida

Valor
Promedio

$\dot{V}O_2$

Relativo:

$3.5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

Absoluto:

$0.250 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$

METS (Equivalencia Metabólica)

Medida Energética Relativa a la Masa Corporal

Múltiplo
de la

TASA METABÓLICA BASAL (TMB)
($\dot{V}O_2$ en Reposo: $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)

es igual a (1 MET)

3.5 mL de $O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
(Promedio de la TMB)

ERGOMETRÍA:

Medición de Variables Fisiológicas

RESPUESTAS FISIOLÓGICAS AL EJERCICIO: *MEDICIÓN/MONITOREO DE VARIABLES AGUDAS*

Radiotelemedría y Grabadoras en Miniatura

- *Actividad del corazón (Frecuencia Cardíaca [FC] y Electrocardiografía [EKG])*
- *Frecuencia respiratoria (FR ó BR)*
- *Temperatura corporal (periférica/piel y central/interna)*
- *Actividad muscular (electromiograma)*

ERGOMETRÍA:

Medición de Variables Fisiológicas

RESPUESTAS FISIOLÓGICAS AL EJERCICIO: *MEDICIÓN/MONITOREO DE VARIABLES AGUDAS*

Determinantes Variables Durante Monitoreo

- *Condiciones Ambientales (temperatura, humedad, intensidad de la luz, ruido)*
- *Última comida (hora y volumen/cantidad)*
- *Ritmos Circardianos (variación diurna fisiológica)*
- **Ciclo menstrual**

ESCALA BORG DE PERCEPCIÓN DE ESFUERZO

DESCRIPCIÓN	NÚMERO
	6
Bien, Bien Liviano	7
	8
Bien Liviano	9
	10
Bastante Liviano	11
	12
Algo Fuerte	13
	14
Fuerte	15
	16
Bien Fuerte	17
	18
Bien, Bien Fuerte	19
	20

ESCALA DE BORG

ESCALA DE LA PERCEPCIÓN DEL ESFUERZO (RPE)

RPE	Frecuencia Cardíaca Aprox (lat/min)
6	60
7 Muy, muy suave	70
8	80
9 Muy suave	90
10	100
11 Bastante suave	110
12	120
13 Un Poco Fuerte	130
14	140
15 Fuerte	150
16	160
17 Muy Fuerte	170
18	180
19 Muy, muy fuerte	190
20	200