

EVALUACIÓN FÍSICA Y FUNCIONAL
Elementos Constitutivos de la Motricidad IV
Apuntes de Clase


Por:

Gustavo Ramón S.*

* Doctor en *Nuevas Perspectivas en la Investigación en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* (Universidad de Granada).

Docente - Investigador del Instituto Universitario de Educación Física, Universidad de Antioquia (Colombia).

Correo: gusramon2000@yahoo.es



PRUEBAS DE EVALUACIÓN INICIAL

La evaluación inicial de cualquier persona que participe en un programa de actividad física regular es la base para la programación posterior del mismo. Dentro de esta evaluación se deben incluir los exámenes médicos, clínicos y la condición física.

EXAMEN MÉDICO

El examen médico debe estar enfocado a descartar y/o detectar patologías que contraindiquen o limiten la actividad física tales como:

- ✓ Enfermedad cardiovascular incluyendo infarto de miocardio, procedimientos de angioplastias coronarias, bypass coronario, cirugía valvular, etc.
- ✓ Signos y síntomas de angor pectoris, enfermedad vascular periférica, anemia y discracias sanguíneas, flebitis.
- ✓ Enfermedades pulmonares como asma, bronquitis crónica, bronquiectasia.
- ✓ Desórdenes músculo esqueléticos

EXAMENES CLÍNICOS Y DE LABORATORIO

- ✓ Cuadro hemático y extendido de sangre periférico

Variable	Hombres	Neutral	Mujeres
Hemoglobina (g/dl)	13.5 – 17.5		11.5 – 15.5
Hematocrito (%)	40 - 52		36 – 48
Glóbulos rojos (x 10 ¹² /L)	4.5 – 6.5		3.9 – 5.6
Glóbulos blancos (x 10 ¹² /L)		4 -11	
Plaquetas (x 10 ⁹ /L)		150 - 450	
Glucosa (mg /dl)		60 – 109	
Nitrógeno ureico (BUN) (mg/dl)		4 - 24 mg/dl	
Creatinina (mg/dl)		0.3 – 1.4	
BUN / Creatinina		7 – 27	
Ácido Úrico (mg/dl)	4.0 – 8.9		2.3 – 7.8

- ✓ Perfil lipídico:

Colesterol total

- < 200 mg / dl (5.2 mmol/L) → deseable
 - Si HDL ≥ 35 mg /dl → deseable
 - Si HDL < 35 mg /dl → Solicitar análisis posprandial de lipoproteínas
- 200 – 239 mg /dl → Límitrofe
 - Si HDL ≥ 35 mg /dl → Si tiene menos de dos factores de riesgo
→ Educación y control dietético
 - Si HDL < 35 mg /dl → Si tiene mas de dos factores de riesgo
→ Solicitar análisis posprandial de lipoproteína

Análisis posprandial de Lipoproteínas:

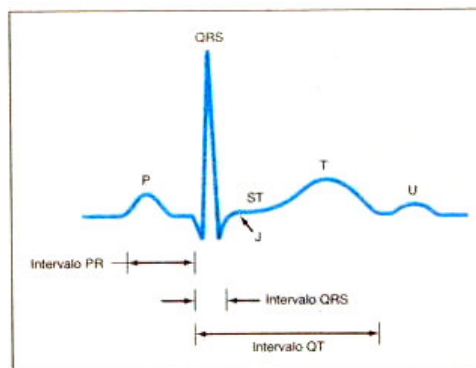
- LDL < 130 mg/dl (3.04 mmol/L) → Deseable
- LDL 130 – 159 mg/dl (3.04 – 4.1 mmol/L) → Límitrofe
 - Si tiene menos de dos factores de riesgo

- Dieta, Revisión anual, educación, actividad física
 - Si tiene mas de dos factores de riesgo
 - Evaluación clínica completa, → iniciar terapia dietética
- LDL > 160 mg/dl (4.1 mmol/L) → Evaluación clínica completa, → iniciar terapia dietética

Categoría	Nivel de inicio	Objetivo
Dieta		
Sin enfermedad coronaria con < 2 factores de riesgo	≥ 160 mg /dl LDL	< 160 mg/dl
Sin enfermedad coronaria pero con + 2 factores de riesgo	≥ 130mg / dl LDL	< 130 mg / dl
Con enfermedad coronaria	> 100 mg / dl	≤ 100 mg / dl
Tratamiento farmacológico		
Sin enfermedad coronaria con <2 factores de riesgo	≥ 190 mg /dl LDL	< 160 mg/dl
Sin enfermedad coronaria pero con +2 factores de riesgo	≥ 160 mg /dl LDL	< 130 mg / dl
Con enfermedad coronaria	≥ 130mg / dl LDL	≤ 100 mg / dl
Categoría	Nivel de inicio	Objetivo
Nivel de triglicéridos		
< 200 mg / dl (< 2.26 mmol/L)	Normal	
200 – 399 mg /dl (2.26 – 4.51 mmol/L)	Alto normal	Descartar dislipidemia primaria o scdaria
400 – 999 mg / dl (4.52 – 11.28 mmol/L)	Alto	Descartar dislipidemia primaria o scdaria
≥ 1000 mg / dl (≥ 11.29 mmol/L)	Muy alto	Alto riesgo de pancreatitis

✓ Electrocardiograma y radiografía de tórax

El electrocardiograma (ECG, o EKG) es el registro gráfico de los potenciales eléctricos generados por el corazón (¹). Las ondas del EKG (ver Figura 1) se designan con letras del alfabeto que inician en P hasta la U. Así, la onda P, primera onda del EKG, representa la despolarización de las aurículas; el complejo QRS, la despolarización de los ventrículos y el complejo ST-T-U (segmento ST, onda T y onda U), la repolarización ventricular. El punto J es la unión entre el extremo final del complejo QRS y el inicio del segmento ST.



¹ HARRISON. Principios de Medicina Interna. 15a ed. MacGraw Hill: Madrid. 2001.

Figura 1. Ondas e intervalos básicos del EKG.

El EKG suele registrarse en un papel milimetrado especial (Figura 2), el cual se desliza a una velocidad de 25 mm/s. De esta manera, la división mas pequeña que es 1 mm corresponde a 0.04 seg., mientras que las líneas mas gruesas (5 mm) corresponden a 0.20 seg. Verticalmente, cada 10 mm corresponde a 1 mV.

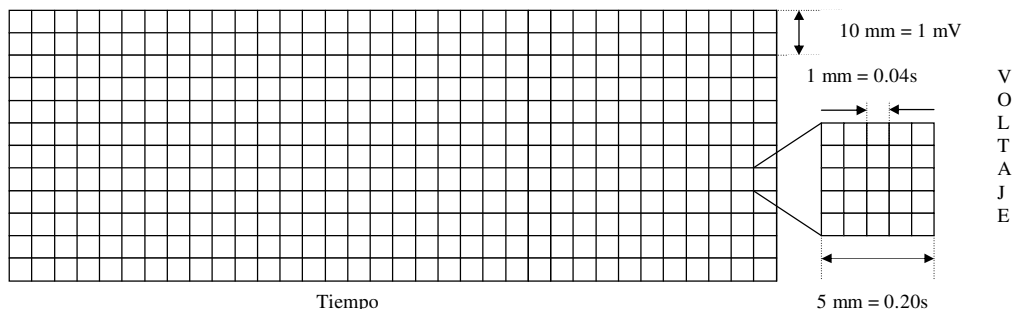
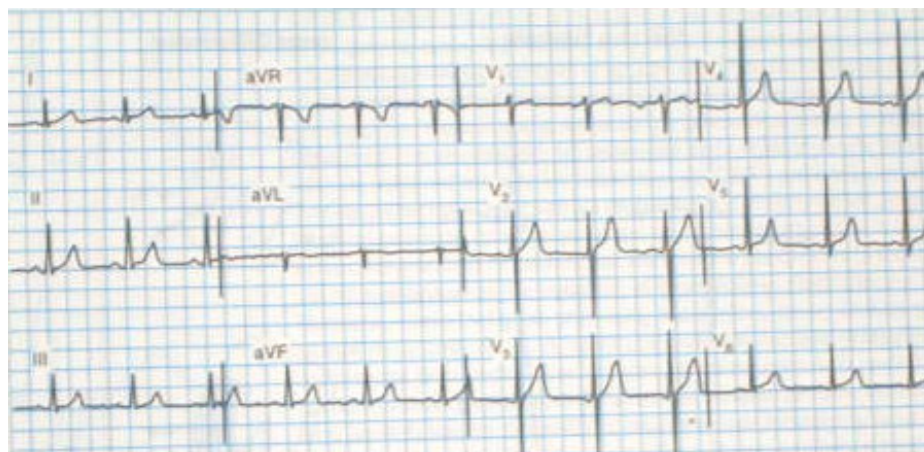


Figura 2. Unidades de medición en el papel EKG.

La frecuencia cardiaca se calcula tomando como constante el # 300 y dividiéndolo por el # de cuadros grandes (5 mm) que tenga el intervalo R-R o con la constante 1500 dividiéndolo por los mm entre dos picos RR.

El intervalo PR normalmente debe medir 150 ms – 200 ms e indica el tiempo transcurrido entre la despolarización auricular y ventricular. El intervalo QRS debe medir 100 ms o menos y refleja la despolarización ventricular. El intervalo QT comprende tanto la despolarización como la repolarización ventricular. En la figura 3 se muestra un EKG de una persona normal, el cual está compuesto por las derivaciones principales (I, II y III), las derivadas (aVR, aVL y AVF) y las precordiales (V1, V2, V3, V4, V5 y V6).

Figura 3. EKG de una persona normal



MEDICIONES FISIOLÓGICAS GENERALES EN REPOSO:

Frecuencia cardiaca:

Se toma de manera manual, utilizando el dedo índice sobre alguna de las arterias periféricas, como por ejemplo la arterial radial (ubicada entre los palmares en la muñeca, cara palmar), o en el precordio (sobre el tórax).

Se puede tomar en un intervalo de tiempo de seis segundos y el resultado multiplicarlo por 10; o en diez segundos y el resultado multiplicarlo por 6; o en quince segundos y el resultado multiplicarlo por 4. Es más confiable en el menor intervalo de tiempo, sobre todo en intervalos cortos de tiempo. La dificultad estriba en el conteo.

También se usan los relojes Polard, el cual da resultados más inmediatos.

Una persona en reposo debe estar entre 60 y 80 p/m. Una persona en reposo, con una frecuencia cardiaca > de 100 p/m probablemente tiene un problema de insuficiencia cardiaca.

Cuando se toma el pulso, no solo debe analizarse la frecuencia en términos absolutos sino también si es rítmico (es decir, el intervalo de tiempo entre pulsaciones es uniforme), si es fuerte o débil. Se debe contrastar con el pulso en el otro miembro.

Presión arterial:

La presión arterial es una medida integral de los pre-test. Las siguientes son las pautas a tener en cuenta en su medición ⁽²⁾:

- El sujeto debe permanecer sentado durante al menos 5 minutos; los brazos deben estar soportados por los descansa brazos, preferiblemente a la misma altura del corazón.
- En circunstancias especiales se puede tomar en decúbito supino o de pie, según sea indicado.
- El brazalete debe dar una vuelta y media al brazo y el ancho debe ser 2/3 de la longitud del brazo. Debe colocarse según la referencia de la arteria braquial y de manera que diste 2 traveses de dedo del pliegue del codo.
- El estetoscopio se coloca sobre la arteria braquial (entre el músculo bíceps y braquial anterior).

² Sixth report of the Joint Committee on Prevention, Detection, Evaluation and Treatment of High Blood Pressure (JNCVI), Public Health Service, National Institutes of Health, National Heart, Lung and Blood Institute. NIH Publication No. 98-4080, November, 1997.

- Se debe insuflar el manguito de manera que la presión suba 20 mm de Hg cada segundo.
- A medida que se van auscultando los ruidos de Korotkoff (ruido que hace la sangre al pasar por una arteria parcialmente obstruida), se debe estar pendiente en que rango de presión se dejan de auscultar. Luego de este momento se añaden 40 mm Hg mas de presión.
- Se abre la llave del manguito de manera que la presión caiga 2-3 mm Hg por segundo. Se debe estar pendiente de la presión correspondiente al momento en que aparezcan los ruidos de Korotkoff pues este momento es el indicador de la **presión arterial sistólica**.
- Finalmente, se debe prestar atención al momento en que desaparezcan los ruidos o cuando cambien de intensidad; esta presión es la correspondiente a la **presión arterial diastólica**.

La siguiente es la clasificación de la presión arterial para adultos mayores de 18 años ⁽¹⁶⁾

Categoría	Presión sistólica	Presión diastólica
Optima	< 120	< 80
Normal	120 – 129	80 – 84
Normal alta	130 – 139	85 – 89
Hipertensión Arterial		
Estado I	140 – 159	90 – 99
Estado II	160 – 179	100 – 109
Estado III	> 180	≥ 110

Función Pulmonar:

Se debe hacer en personas con problemas pulmonares. La mas empleada para su evaluación es la espirometría y en particular: Capacidad Vital Forzada (CVF), Volumen Espiratorio Forzado en 1 segundo (VEF_{1.0}), la relación CV/VEF_{1.0} y la Ventilación Voluntaria Máxima (VVM). Los valores normales están basados en la edad, el género y la estatura. Debido a esto, no existen “buenas o excelentes” ecuaciones de referencia para predecir la función pulmonar. A pesar de esto, se conocen algunas ecuaciones de uso común, las cuales se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Ecuaciones de predicción de la función pulmonar con sus correspondientes valores mas bajos normales (^{3,4})

	<i>Ecuación</i>	<i>Límite inferior</i>
Hombres		
CVF (L)	= (0.0414 * estatura (cm)) – (0.0212 * edad) – 7.75	- 0.84
VEF _{1.0}	= (0.0566 * estatura (cm)) – (0.0233 * edad) – 4.91	- 0.68
VEF _{1.0} / CVF	= - 0.1314 * estatura (cm)) – (0.1490 * edad) + 110.2	- 9.2
VVM	= 40 * VEF _{1.0}	
Mujeres		
CVF (L)	= (0.0414 * estatura (cm)) – (0.0232 * edad) – 2.20	- 0.73
VEF _{1.0}	= (0.0268 * estatura (cm)) – (0.0251 * edad) – 0.38	- 0.55
VEF _{1.0} / CVF	= (-0.2145 * estatura (cm)) – (0.1523 * edad) + 124.5	-11.1
VVM	= 40 * VEF _{1.0}	

EXAMEN ANTROPOMÉTRICO GENERAL

Determinación de:

- ✓ **Peso:**
Luego de calibrar la balanza, el sujeto debe estar con la mínima ropa posible y en ayunas, permanecer de una manera estable y mirando hacia el frente. Obtener la medición con un decimal.
- ✓ **Talla:**
Conseguir un tallímetro con una cinta métrica ascendente. Colocar al sujeto de manera que realice cinco contactos con el tallímetro: con el talón, los gemelos, los glúteos, la espalda y el occipucio. El sujeto debe colocarse con la mirada hacia el frente. El objeto que se utilice para determinar el borde mas distal o mas alto del cuerpo debe formar ángulo recto con el tallímetro. La medición se debe hacer con un decimal de precisión
- ✓ **Índice de Masa Corporal (IMC):** masa (Kg)/ Estatura (m)²
 - < 18.5 → Debajo del peso
 - Entre 18.5 – 24.9 → Normal
 - Entre 25.0 – 29.9 → Sobrepeso
 - Mayor de 30.0 → Obesidad
 - Tiene un ± 5% de porcentaje de margen de error al estimar de grasa

³ Miller A. Pulmonary function test in clinical and occupational lung disease. Orlando: Grune & Stratton, 1986.

⁴ Wasserman K., Hansen JE., Sue DY., et al. Principles of Exercise Testing. Philadelphia: Lea & Febiger, 1987

✓ Circunferencia Abdominal (CA)

Se toma a nivel del ombligo con una cinta métrica estandarizada. Un panel de expertos norteamericanos (⁵) han propuesto mediciones y riesgos asociados, (Tabla 2) basados en la medición del IMC y de CA

✓ Circunferencia de Glúteos (CG)

Se toma a nivel de los glúteos, en su máximo perímetro. Esta medición asociada con la circunferencia abdominal ha sido usada como un indicador de la siguiente manera (⁵):

GÉNERO	EDAD	CA / CG	RIESGO HTA, DM, OB
Hombres	20- 59	> 0.94	Alto
Hombres	60 - 69	> 1.03	Alto
Mujeres	20 – 59	> 0.82	Alto
Mujeres	60 - 69	> 0.90	Alto

Tabla 2. Clasificación de riesgo de hipertensión, diabetes tipo 2 y enfermedad cardiovascular, basado en el BMI y la circunferencia abdominal (⁵)

	BMI Kg / m ²	Circunferencia abdominal	
		Hombres ≤ 102 cm Mujeres ≤ 88 cm	Hombres > 102 cm Mujeres > 88 cm
Debajo del peso	< 18.5	-	-
Normal	18.5 – 24.9	-	-
Sobrepeso	25.0 – 29.9	Incrementado	Alto
Obesidad I	30.0 – 34.9	Alto	Muy alto
Obesidad II	35.0 – 39.9	Muy alto	Muy alto
Obesidad III	≥ 40.0	Extremamente alto	Extremamente alto

✓ Pliegues subcutáneos y porcentaje de grasa corporal

La composición corporal basada en la medición de los pliegues corporales se correlaciona bien ($r = 0.70-0.90$) con la composición corporal determinada mediante el pesaje hidrostático. El principio subyacente a este procedimiento es que la grasa subcutánea es proporcional a la grasa corporal. Sin embargo, la proporción exacta de la grasa subcutánea/general varía con el género, la edad y los grupos étnicos (⁶). Por lo tanto, en las ecuaciones de regresión deben ser consideradas estas variables para lograr un mayor grado de confiabilidad (ver tabla 3). En la tabla 4 se presentan los sitios estandarizados para la toma de pliegues. En la tabla 5, las ecuaciones para determinar densidad corporal. Para mejorar la precisión se deben realizar cursos de estandarización con personal previamente entrenado y certificado. Hecho esto, el error estimado puede ser del 3.5%.

⁵ Expert panel. (1998) Executive summary of the clinical guidelines on the identification, evaluation and treatment of overweight and obesity in adults. *Arch Int Med.* 158: 1855-1867.

⁶ Roche AF. Anthropometry and ultrasound. En: Roche AF, Heymsfield SB., Lohman TG, eds Human Body Composition. Champaign, IL: Human Kinetics, 1996: 167-189.

Tabla 3. Fórmulas específicas por población para convertir la densidad corporal (DC) a porcentaje de grasa (⁷)

Población	Edad	Género	% de grasa
Raza			
Indio Americano	18 - 60	Femenino	(4.81 / DC) – 4.34
Negra	18 - 32	Masculino	(4.37 / DC) – 3.93
	24 – 79	Femenino	(4.85 / DC) – 4.39
Hispana	20 – 40	Femenino	(4.87 / DC) – 4.41
Nativo japonés	18 – 48	Masculino	(4.97 / DC) – 4.52
		Femenino	(4.76 / DC) – 4.28
	61 - 78	Masculino	(4.87 / DC) – 4.41
		Femenino	(4.95 / DC) – 4.50
Blanca	7 - 12	Masculino	(5.30 / DC) – 4.89
		Femenino	(5.35 / DC) – 4.95
	13 - 16	Masculino	(5.07 / DC) – 4.64
		Femenino	(5.10 / DC) – 4.66
	17 - 19	Masculino	(4.99 / DC) – 4.55
		Femenino	(5.05 / DC) – 4.62
	20 - 80	Masculino	(4.95 / DC) – 4.50
		Femenino	(5.01 / DC) – 4.57
			(4.99 / DC) – 4.55
Anorexia	15 – 30	Femenino	(5.26 / DC) – 4.83
Obesidad	17 - 62	Masculino	(5.00 / DC) – 4.56

Tabla 4. Descripción de los sitios estandarizados para la evaluación de la composición corporal.

Nombre	Ubicación
• Abdominal	Pliegue vertical; 2 cm a la derecha del ombligo
• Tricipital	Pliegue vertical; en la línea media posterior del brazo, en el intermedio entre el olécranon y el acromion, con el brazo libre descolgado.
• Bíceps	Pliegue vertical; en la cara anterior del brazo, parte media, 1 cm por debajo de la marca del tríceps.
• Pectoral	Pliegue diagonal; la mitad de la distancia entre la línea axilar anterior y el pezón (hombre) o un tercio de la distancia entre la línea axilar anterior y el pezón (mujer)
• Subescapular	Pliegue diagonal (45°); a 1 o 2 cm debajo del ángulo inferior de la escápula.
• Medio axilar	Pliegue vertical; sobre la línea media axilar a nivel del apéndice xifoides del esternón.
• Suprailíaco	Pliegue diagonal; sobre el ángulo de la cresta iliaca con la línea medio axilar anterior a nivel o inmediatamente superior a la cresta iliaca.
• Muslo	Pliegue vertical; sobre la línea media anterior del muslo, intermedio entre el borde anterior de la rótula y el pliegue inguinal.
• Pantorrilla	Pliegue vertical; sobre el máximo de la circunferencia de la pantorrilla sobre el borde medio.

⁷ Heyward VH., Stolarczyk LM. Applied Body Composition Assessment. Champaign IL.: Human Kinetics, 1996.

Tabla 5. Ecuaciones generales para determinar densidad corporal (⁸)

Género	Ecuaciones
Masculino:	
• Con siete pliegues (7P): pecho, medio axilar, tríceps, subescapular, abdominal, Suprailíaco, muslo	$DC = 1.112 - 0.00043499 (\text{suma } 7P) + 0.00000055 (\text{suma } 7P)^2 - 0.00028826 (\text{Edad}(\text{años}))$
• Con tres pliegues (3P): pecho, abdomen, muslo	$DC = 1.10938 - 0.0008627 (\text{suma } 3P) + 0.00000016 (\text{suma } 3P)^2 - 0.0002574 (\text{Edad}(\text{años}))$
• Con tres pliegues (3P): pecho, tríceps, subescapular.	$DC = 1.1125025 - 0.0013125 (\text{suma } 3P) + 0.00000055 (\text{suma } 3P)^2 - 0.000244 (\text{Edad} (\text{años}))$
Femenino:	
• Con siete pliegues (7P): pecho, medio axilar, tríceps, subescapular, abdominal, Suprailíaco, muslo	$DC = 1.097 - 0.00046971 (\text{suma } 7P) + 0.00000056 (\text{suma } 7P)^2 - 0.00012828 (\text{Edad}(\text{años}))$
• Con tres pliegues (3P): Tríceps, Suprailíaco, muslo	$DC = 1.099421 - 0.0009929 (\text{suma } 3P) + 0.00000023 (\text{suma } 3P)^2 - 0.0001392 (\text{Edad}(\text{años}))$
• Con tres pliegues (3P): tríceps, suprailíaco, abdominal.	$DC = 1.089733 - 0.0009245 (\text{suma } 3P) + 0.00000025 (\text{suma } 3P)^2 - 0.0000979 (\text{Edad} (\text{años}))$

Tabla 6. Porcentaje de grasa corporal para hombres y mujeres (⁹)

HOMBRES	Edad				
	20 – 29	30 – 39	40 – 49	50 – 59	60 +
Percentil					
90	7.1	11.3	13.6	15.3	15.3
80	9.4	13.9	16.3	17.9	18.4
70	11.8	15.9	18.1	19.8	20.3
60	14.1	17.5	19.6	21.3	22.0
50	15.9	19.0	21.1	22.7	23.5
40	17.4	20.5	22.5	24.1	25.0
30	19.5	22.3	24.1	25.7	26.7
20	22.4	24.2	26.1	27.5	28.5
10	25.9	27.3	28.9	30.3	31.2
MUJERES	Edad				
Percentil	20 – 29	30 – 39	40 – 49	50 – 59	60 +
90	14.5	15.5	18.5	21.6	21.1
80	17.1	18.0	21.3	25.0	25.1
70	19.0	20.0	23.5	26.6	27.5
60	20.6	21.6	24.9	28.5	29.3
50	22.1	23.1	26.4	30.1	30.9
40	23.7	24.9	28.1	31.6	32.5
30	25.4	27.0	30.1	33.5	34.3
20	27.7	29.3	32.1	35.6	36.6
10	32.1	32.8	35.0	37.9	39.3

⁸ Jackson AS, Pollock ML. Practical assessment of body composition. *Physician Sport Med.*, 1985; 13:76-90

⁹ Institute of Aerobics Research, Dallas, TX (1994).

EVALUACIÓN DE LA FUERZA

El desarrollo de la fuerza muscular o denominado “fitness muscular” ha sido reconocido por la CAMD (2000) como elemento que está relacionado con:

- a) La masa libre de grasa o masa magra y el consumo metabólico basal, factores relacionados con la ganancia de peso.
- b) La masa ósea, relacionada con la osteoporosis.
- c) La tolerancia a la glucosa asociada a la diabetes II
- d) Integridad musculotendinosa, en estrecha unión con la prevención de lesiones así como del dolor de espalda baja.
- e) La habilidad para realizar actividades diarias, en consonancia con la autoestima.

El término fitness muscular ha sido usado para describir el estado integrado de la fuerza muscular (la posibilidad de vencer una resistencia) y la resistencia a la fuerza (capacidad de repetir una actividad hasta alcanzar la fatiga. ^(10, 11)).

Los siguientes son factores que deben tenerse en cuenta con relación a las pruebas de valoración:

- a) La fuerza y la resistencia muscular son específicos para cada músculo y/o grupo muscular, para el tipo de contracción muscular (estática, dinámica, concéntrica o excéntrica), la velocidad de contracción y el ángulo a la cual se mide. Por lo tanto, no existe una prueba que determine el desarrollo de la fuerza muscular general.
- b) Se debe realizar un acostumbramiento a los equipos utilizados en la medición así como a los protocolos.
- c) Se deben implementar medidas de seguridad en el uso de los equipos, tal que garanticen la integridad de los evaluados.
- d) Los desarrollos individuales se pueden realizar en términos absolutos (resistencia vencida). Cuando se compara dos individuos, las medidas deben relativizarse al peso corporal.

Fuerza Muscular.

La fuerza muscular se refiere a la capacidad que tiene la musculatura para vencer una resistencia. Desde el punto de vista físico, es la capacidad de acelerar una masa y su magnitud son los Newtons (N), pero en el campo de las ciencias aplicadas al deporte se expresa en Kg (que son unidades de masa). Se pueden realizar mediciones en

¹⁰ Kramer WJ., Fry AC. Strength testing: development and evaluation of methodology. En: Maud PJ., Foster C., eds. *Physiological Assessment of Human Fitness*. Champaign, IL Human Kinetics, 1995:115-138.

¹¹ Graves JE., Pollock ML., Bryant CX. Assessment of muscular strength and endurance. En: Roitman JL., ed. *ACSM's Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 3rd ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1998:363-367.

condiciones estáticas o dinámicas, existiendo equipos para tales fines, tales como los dinamómetros o los pesos libres.

El proceso de medición de la fuerza en condiciones estáticas es inherente a cada grupo muscular y al ángulo en el cual se mide, por lo que es muy dispendioso y poco útil. En vez de ellos, las mediciones se hacen de manera dinámica con pesos libres o con máquinas. En estos casos, aparece el concepto de **fuerza máxima voluntaria (FMV)** como la máxima resistencia que es capaz de levantar o mover el sujeto.

El estándar de la FMV es la máxima repetición, abreviada como **1RM**, la cual implica el siguiente proceso:

1. Un calentamiento de 5-10 minutos
2. 5 a 10 repeticiones con el 40-60% del máximo percibido.
3. Descanso de 1-3 minutos con ligeros estiramientos.
4. 3 – 5 repeticiones con pesos entre 60-80% del máximo.
5. Añadir una pequeña cantidad de peso e intentar movilizar la carga. Si no lo logra, esta carga es la FMV. Si lo logra, continuar con el siguiente paso.
6. Descansar 3 – 5 minutos y repetir el paso 5, es decir, añadir una pequeña carga e intentar moverla.

Para la evaluación de la fuerza de la musculatura de los miembros inferiores ha sido utilizada la media sentadilla y la máquina “Leg press”. Para los miembros superiores, el “press de banca”. En las tablas 7 y 8 se presentan los valores sugeridos por el CAMD para evaluar estas variables, utilizando 1RM. En dichas tablas se presenta la fuerza relativa (fuerza máxima encontrada / peso corporal).

Tabla 7. Fuerza de los miembros superiores (“press banca”). (Institute of Aerobics Research, Dallas, TX, 1994).

Percentil	Hombres					Mujeres					
	Edad →	20 - 29	30 – 39	40 – 49	50 – 59	60 +	20 - 29	30 – 39	40 – 49	50 – 59	60 +
90		1.48	1.24	1.10	0.97	0.89	0.90	0.76	0.71	0.61	0.64
80		1.32	1.12	1.00	0.90	0.82	0.80	0.70	0.62	0.55	0.54
70		1.22	1.04	0.93	0.84	0.77	0.74	0.63	0.57	0.52	0.51
60		1.14	0.98	0.88	0.79	0.72	0.70	0.60	0.54	0.48	0.47
50		1.06	0.93	0.84	0.75	0.68	0.65	0.57	0.52	0.46	0.45
40		0.99	0.88	0.80	0.71	0.66	0.59	0.53	0.50	0.44	0.43
30		0.93	0.83	0.76	0.68	0.63	0.56	0.51	0.47	0.42	0.40
20		0.88	0.78	0.72	0.63	0.57	0.51	0.47	0.43	0.39	0.38
10		0.80	0.71	0.65	0.57	0.53	0.48	0.42	0.38	0.37	0.33

Tabla 8. Fuerza de miembros inferiores (“leg press”) (Institute of Aerobics Research, Dallas, TX, 1994).

Percentil	Hombres					Mujeres				
	Edad →	20 - 29	30 – 39	40 – 49	50 – 59	60 +	20 - 29	30 – 39	40 – 49	50 – 59
90	2.27	2.07	1.92	1.80	1.73	1.82	1.61	1.48	1.37	1.32
80	2.13	1.93	1.82	1.71	1.62	1.68	1.47	1.37	1.25	1.18
70	2.05	1.85	1.74	1.64	1.56	1.58	1.39	1.29	1.17	1.13
60	1.97	1.77	1.68	1.58	1.49	1.50	1.33	1.23	1.10	1.04
50	1.91	1.71	1.62	1.52	1.43	1.14	1.27	1.18	1.05	0.99
40	1.83	1.65	1.57	1.46	1.38	1.37	1.21	1.13	0.99	0.93
30	1.74	1.59	1.51	1.39	1.30	1.27	1.15	1.08	0.95	0.88
20	1.63	1.52	1.44	1.32	1.25	1.22	1.09	1.02	0.88	0.85
10	1.51	1.43	1.35	1.22	1.16	1.14	1.00	0.94	0.78	0.72

Para investigaciones, el protocolo indicado es 1RM, pero para condiciones de desarrollo normal de gimnasios y actividades encaminadas a la salud, existen fórmulas que usando las repeticiones que puede hacer con una determinada carga, calculan la FMV. Estos procedimientos obviamente conllevan muchos factores de error. Los siguientes son ejemplos.

Tabla 9. Ecuaciones para el cálculo de 1RM a partir de las repeticiones realizadas con una determinada carga

McDonagh y Davies (1984)		Autor	Determinación de 1 RM
Repeticiones	% con respecto a la máxima		
1 RM	100%	Epley (1995)	$(0.0333 * \text{kilos} * \text{repeticiones}) + \text{kilos}$
2 RM	95% (± 2)	Watham (1994)	$100 * \text{kilos} / (48.8 + 53.8^{-0.075 * n^2} \text{ repeticiones})$
3 RM	90% (± 3)	Brzycki (1993)	$102.78 - 2.78 * \text{repeticiones}$
4 RM	86% (± 4)	Mayhew et al (1993)	$53.3 + 41.8 * e^{-0.055 * \text{repeticiones}}$
5 RM	82% (± 5)	Lombardi (1989)	$\text{Kilos} * \text{repeticiones}^{0.1}$
6 RM	78% (± 6)	O' Conner et al (1989)	$\text{Kilos} * (1 + 0.025 * \text{repeticiones})$
7 RM	74% (± 7)	Landers (1985)	$101.3 - 2.67123 * \text{repeticiones}$
8 RM	70% (± 8)		
9 RM	65% (± 9)		
10 RM	61% (± 10)		
11 RM	57% (± 11)		
12 RM	53% (± 12)		

En el campo de las poblaciones sedentarias, Hoeger (citado por George et al ,1996), han elaborado la tabla 10, basado en la puntuación obtenida al realizar un determinado número de repeticiones realizado en movimientos específicos.

Tabla 10. Determinación del porcentaje de carga para cada ejercicio de acuerdo al peso corporal (según Hoeger, citado por George et al ,1996).

Ejercicio	Hombres	Mujeres
Curl bíceps	35	18
Press de pierna	65	50
Polea Alta	70	45
Abdominales (1min)	-	-
Press de pecho	75	45
Curl bíceps femoral	32	25

Tabla 11. Puntuación (A: Para hombres; B: Mujeres) para cada uno de los ejercicios de acuerdo al número de repeticiones realizadas en cada ejercicio de la tabla 10.

A. Hombres							
Nivel	Puntos	Curl bíceps	Press pierna	Jalón alto	Press pecho	Bíceps femoral	Abdominales
Muy baja	5	<2	0-3	0-3	0	0-1	0-22
Baja	7	3-4	4-6	4-5	1-2	2-3	23-27
Regular	9	5-7	7-9	6-8	3-6	4-7	28-32
Buena	11	8-9	10-12	9-10	7-10	8-10	33-36
Muy buena	13	10-14	13-14	11-15	11-15	11-14	37-40
Excelente	15	15-20	15-19	16-24	16-20	15-19	41-44
Superior	17	+21	+20	+25	+21	+20	+45
B. Mujeres							
Nivel	Puntos	Curl bíceps	Press pierna	Jalón alto	Press pecho	Bíceps femoral	Abdominales
Muy baja	5	<2	0-1	0-2	0	0	0-14
Baja	7	3-5	2-4	3-5	1	1-2	15-19
Regular	9	6-7	5-7	6-8	2-4	3-4	20-24
Buena	11	8-11	8-9	9-10	5-9	5-6	25-29
Muy buena	13	12-15	10-12	11-15	10-15	7-9	30-33
Excelente	15	16-20	13-19	16-24	16-20	10-16	34-38
Superior	17	+21	+20	+25	+21	+17	+39

Tabla 12. Tabla para la determinación del índice de fuerza.

Nivel	Total puntos
Baja	<53
Regular	54-65
Buena	66-77
Muy buena	78-89
Excelente	>89

Resistencia muscular.

La resistencia muscular es considerada como la habilidad de un grupo muscular de realizar repeticiones hasta la fatiga o de mantener un porcentaje específico de la FMV durante un período controlado de tiempo. Los test de campo conocidos como “Flexiones de pecho” o “Abdominales” pueden ser usados como indicadores de resistencia muscular (^{12,13}).

El protocolo de ejecución de las Flexiones de pecho o lagartijas es el siguiente:

1. En el caso de los hombres, el sujeto se coloca con la punta de pies apoyados en el piso, las piernas juntas, la espalda recta, la cabeza levantada y las manos apoyadas también en el piso, al ancho de los hombros. En el caso de mujeres, el apoyo de los pies cambia al apoyo de rodillas, manteniendo las demás condiciones.

¹² Faulkner RA., Springings ES., McQuarrie A., et al. A partial curl-up protocol for adults based on an analysis of two procedures. *Can J Sport Sci.*, 1989; 14:135-141.

¹³ Canadian Standardized Test of Fitness Operations Manual. 3rd ed. Ottawa: Fitness and Amateur Sport Canada, 1986.

2. El sujeto flexiona los codos y los hombros de manera que llegue a tocar el piso con la mandíbula. El abdomen no debe tocar el piso.
3. El sujeto extiende los codos completamente.
4. El máximo número de repeticiones que logre realizar, se registra y se compara con la tabla 16.

Para la evaluación de las abdominales o flexiones de tronco:

1. El sujeto en posición decúbito supino sobre el piso o sobre una colchoneta con las rodillas en ángulo de 90°. Con los brazos colocados hacia los costados, con los dedos tocando una línea previamente demarcada o tocando una cinta adhesiva. Se coloca una segunda marca (línea o cinta) a 8 cm de la primera, para el caso de los mayores de 45 años, o a 12 cm, para los menores de 45 (²¹)
2. Se inicia un metrónomo a una cadencia de 40 tiempos/min. El individuo debe deslizar los dedos hasta tocar la segunda línea (1er tiempo) y luego volver a la marca inicial (2do tiempo), de manera que los omoplatos se despegan del piso (el tronco en un ángulo de 30° con respecto al piso) quedando la espalda recta. El individuo tiene que realizar 20 movimientos completos por minuto, al ritmo del metrónomo.
3. El individuo realiza tanto movimientos como sea capaz, teniendo como máximo 75 movimientos /min.

Las tablas 13 y 14 presentan la escala propuesta por Canada Fitness Survey (1981).

Tabla 13. Percentiles por edad y género para flexiones de pecho o lagartijas.

Percentil	Hombres					Mujeres					
	Edad →	20 - 29	30 - 39	40 - 49	50 - 59	60 +	20 - 29	30 - 39	40 - 49	50 - 59	60 +
90		41	32	25	24	24	32	31	28	23	25
80		34	27	21	17	16	26	24	22	17	15
70		30	24	19	14	11	22	21	18	13	12
60		27	21	16	11	10	20	17	14	10	10
50		24	19	13	10	9	16	14	12	9	6
40		21	16	12	9	7	14	12	10	5	4
30		18	14	10	7	6	11	10	7	3	2
20		16	11	7	5	4	9	7	4	1	0
10		11	8	4	4	2	5	4	2	0	0

Tabla 14. Percentiles por edad y género para abdominales.

Percentil	Hombres					Mujeres					
	Edad →	20 - 29	30 - 39	40 - 49	50 - 59	60 +	20 - 29	30 - 39	40 - 49	50 - 59	60 +
90		75	75	75	74	53	70	55	50	48	50
80		56	69	70	60	33	45	43	42	30	30
70		41	4	67	45	26	37	34	33	23	24
60		31	36	51	35	16	32	28	28	16	19
50		27	31	39	27	9	27	21	25	9	13
40		24	26	31	23	2	21	15	20	2	9
30		20	19	26	19	0	17	12	14	0	3
20		13	13	21	13	0	12	0	5	0	0
10		4	0	13	0	0	5	0	0	0	0

EVALUACIÓN FUNCIONAL

En el ámbito de la actividad física, ya sea enfocada al alto rendimiento, o a la salud y la recreación, se hace necesario evaluar la respuesta del individuo a las cargas físicas. La evaluación de ésta respuesta Mide la capacidad de reserva funcional del organismo. En condiciones normales, el organismo tan sólo utiliza un porcentaje de su capacidad metabólica o de trabajo, reserva que se expresa como gasto metabólico basal, equivalente a $3.5 \text{ ml O}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, conocido como 1 MET. Por otra parte, en condiciones de actividad física intensa, el gasto metabólico puede llegar a 22 METs o más, en atletas altamente entrenados. Esta diferencia entre lo que el organismo puede realizar en condiciones basales y de máximo rendimiento es lo que se denomina **reserva funcional**.

Para la evaluación de la reserva funcional, se recurre a variables fisiológicas tales como la frecuencia cardiaca, la presión arterial, el consumo de oxígeno, los niveles de lactato sanguíneo, la ventilación pulmonar o la percepción del esfuerzo, entre otras. En condiciones normales, estas variables tienen un comportamiento que ya ha sido estudiado y que se considera como el patrón de respuesta. En la evaluación funcional se estudian las respuestas de variables fisiológicas a las cargas físicas. También se conocen dichas evaluaciones como pruebas de esfuerzos (PE) o pruebas funcionales (PF).

En una prueba de esfuerzo, un sujeto es sometido a un estrés físico (continuo o intermitente) con el fin de estudiar las respuestas del organismos y por ende, medirlas. Las pruebas pueden ser de carácter submáximo (cuando el individuo no llega al agotamiento, por ejemplo, hasta el 85% de su frecuencia cardiaca máxima teórica) o puede ser máxima, prueba en la cual el individuo mismo es el que pide terminar la prueba por agotamiento. Las pruebas pueden ser de campo (test de la milla o de Cooper) o en condiciones de laboratorio.

Entre los objetivos de una prueba funcional o de esfuerzo podemos citar:

1. Determinar las respuestas de las variables cardiovasculares (frecuencia cardiaca, presión arterial, EKC, consumo de oxígeno) al ejercicio progresivo de intensidad.
2. Detectar anomalías en la respuesta cardiovascular a la actividad física

3. Determinar el nivel de acondicionamiento físico (consumo de oxígeno) de una persona.
4. Establecer el perfil fisiológico de una persona.
5. Evaluar el proceso de adaptación del organismo a un plan de actividad física.
6. Controlar y Optimizar un proceso de entrenamiento.
7. Detectar posibles talentos para la actividad física de rendimiento máximo.

Las siguientes son indicaciones para la realización para una prueba de esfuerzo (¹⁴):

1. Confirmación de una cardiopatía isquémica.
2. Evaluación de la capacidad funcional en una cardiopatía.
3. Valoración del pronóstico de un infarto agudo de miocardio.
4. Evaluación de un programa de rehabilitación cardiaca.
5. Estudio de arritmias cardiacas.
6. Valoración de la eficacia de un medicamento.
7. Evaluación de pacientes asintomáticos mayores de 40 años con factores de riesgo coronarios.
8. Valoración de la respuesta cardiovascular en diferentes cardiopatías.

Sensibilidad y Especificidad.

La **sensibilidad** es la capacidad de identificar aquellos sujetos que padecen o presentan una enfermedad o rasgo específico (v.gr.: una PE se considera positiva para isquemia miocárdica cuando el EKG muestra infradesniveles del segmento ST). La **especificidad** hace referencia a la posibilidad de que mediante la prueba se pueda descartar que una persona no padezca enfermedad. Según Serra (1996), la sensibilidad de una PE es de alrededor de 50-80% y la especificidad es de 80-90%, lo que indica que 10-20% de la población puede ser considerada como enferma.

PROTOCOLOS DE PRUEBAS FUNCIONALES.

Condiciones previas.

Para la obtención de datos confiables al realizar una prueba de esfuerzo se deben seguir una metodología estricta. A continuación se enumeran las condiciones previas para la realización de una prueba de esfuerzo:

1. Abstenerse de realizar actividad física intensa durante el día anterior a la prueba.
2. No ingerir bebidas alcohólicas o estimulantes (café, té, etc) o de fumar el mismo día de la prueba.
3. No ingerir alimentos antes de 2-3 horas de la prueba.
4. Realizar una prueba de acostumbamiento.

La temperatura ambiental debe estar entre 20-23°C; la humedad relativa, entre 45-65%; altura sobre el nivel del mar, 1500m; el recinto debe estar bien aireado y eliminar el ruido ambiental.

¹⁴ SERRA, J.R. Prescripción de ejercicio físico para la Salud. Barcelona: Paidotribo. 1996.

Las pruebas de esfuerzo tienen contraindicaciones que pueden ser absolutas y relativas. La tabla 15 las resume.

Tabla 15. Contraindicaciones para la realización de una prueba de esfuerzo.

Contraindicaciones	
Absolutas	Relativas
• Enfermedad no controlada	• Bloqueo A-V de segundo o tercer grado.
• Infarto de miocardio en fase aguda	• TAS > 200 mmHg; TAD > 110 mmHg
• Angina inestable	• Estenosis aórtica moderada
• Miocarditis o pericarditis reciente	• Anemia
• Arritmia cardiaca potencialmente grave	• Marcapasos artificial de frecuencia fija
• Aneurisma disecante de aorta	•
• Insuficiencia cardiaca descompensada	•
• Cor pulmonale	•
• Tromboflebitis grave	•
• Desequilibrio electrolítico	•
• Anemia severa (Hb < 9g/dl)	•

Ergómetros.

Los ergómetros, por definición etimológica, son instrumentos específicos para medir la capacidad de trabajo (ergo = trabajo; metron= medida) pero que en la ciencias aplicadas a la actividad física y el deporte se utilizan para la valoración funcional (También se conoce la evaluación funcional como ergometría, derivado del término ergómetro). Deben simular el gesto deportivo o de entrenamiento que va emplear o emplea la persona. Así, un ciclista deberá ser evaluado en un cicloergómetro; un corredor, en una banda sinfín; un nadador, en una piscina ergométrica.

Los cicloergómetros electromecánicos pueden medir la resistencia medidas en vatios, julios o en velocidad (Km/hr). Tienen la ventaja de ser maniobrables, bajo costo, comodidad para el evaluador y para el evaluado. Entre las desventajas está el que no evalúa la capacidad de reserva de forma exhaustiva puesto que los miembros superiores no trabajan. La indicación para el uso de estos ergómetros está en la evaluación de sujetos que presentan mucho peso, sujetos que practican ciclismo o ausencia de disposición de otro tipo de ergómetro.

Las bandas sinfín son los ergómetros mas utilizados actualmente en los laboratorio de Fisiología del Ejercicio. Entre las ventajas están la de reproducir la actividad humana mas natural como es la de caminar, trotar o correr; entre las desventajas, el costo, la poca maniobrabilidad y la dificultad para la medición de la presión arterial o toma de muestras sanguíneas.

Los ergoespirómetros miden la función pulmonar y miden la cantidad de O₂ consumido y la eliminación de CO₂. Habitualmente son de circuito abierto, es decir, con intercambio con el aire del medio ambiente. Permiten obtener información de la capacidad vital, de la frecuencia respiratoria, del consumo de O₂ y de CO₂, del umbral ventilatorio. Estos ergómetros tienen grandes ventajas en las pruebas de evaluación funcional puesto que son los con mayor grado de precisión miden dichas variables. Entre las desventajas, los altos costos tanto de consecución como de mantenimiento, la

poca maniobrabilidad. Una variante de este equipo son los ergoespirómetros portátiles, que, como su nombre lo indica, se pueden usar fácilmente en las pruebas de campo.

Parámetros utilizados

- **Mecánicos:** trabajo físico realizado, potencia, velocidad.
- **Fisiológicos:** frecuencia cardiaca, presión arterial, EKG
- **Ergoespirométricos:** Consumo de oxígeno, ventilación pulmonar (VE), producción CO₂, Equivalente respiratorio de O₂ (VE / VO₂), pulso de O₂ (VO_{2 max} /FC), cociente respiratorio (R = CO₂ / O₂).
- **Sanguíneos:** lactacidemia, umbral anaeróbico.

En la tabla 16 se presentan valores de variables fisiológicas en deportistas jóvenes y mayores de élite.

Tabla 16. Valores máximos (media, desviación estandar) de distintos parámetros ergoespirométricos en deportistas jóvenes y atletas de élite.

Valores	Deportistas jóvenes	Deportistas de élite
VO ₂ (ml / min)	3.500 ± 500	4.000 ± 400
VO _{2 max} (ml/kg/min)	51.5 ± 7	40 ± 4
VCO ₂ (ml/min)	4.300 ± 350	4.800 ± 500
VE (L/min)	120 ± 10	160 ± 20
FR (r/min)	45 ± 5	48 ± 10
FC (p/min)	190 ± 10	196 ± 6
VO ₂ /FC ml / lat	19.5 ± 0.9	21 ± 0.6
R	1.2 ± 0.1	1.2 ± 0.1
METs	14 ± 4	20 ± 2

La potencia aeróbica:

En cualquier prueba en la cual un sujeto sea sometido a un incremento progresivo de la carga o esfuerzo físico resultará en un incremento de las funciones tanto aeróbica como anaeróbicas. En el máximo de esfuerzo se considera que es la producción aeróbica de energía la que mantiene el esfuerzo y se equipara a la máxima admisión de oxígeno pulmonar, el cual no incrementará a pesar de incrementar la intensidad del ejercicio. Este punto o estado es el que se denomina **potencia aeróbica**.

Aunque tradicionalmente se ha aceptado que la cantidad de oxígeno extraída del aire pulmonar es igual a la energía producida por la respiración celular o a la producción de energía aeróbica, este concepto no es del todo correcto. Se debe tener presente que los diferentes sustratos (carbohidratos, grasas, proteínas) requieren diferentes cantidades de oxígeno para ser metabolizados y para ser utilizados y por otra parte, la glucólisis anaeróbica es una parte obligatoria de la producción de energía. A pesar de esto, en el campo de las ciencias de la actividad física se utiliza el término *consumo de oxígeno* tanto en unidades absolutas (L/min) como relativas (ml/kg/min) para cuantificar la producción de energía aeróbica. El punto o estadio en el cual el consumo de oxígeno deja de aumentar y alcanza una meseta o empieza a descender a pesar de que la intensidad del ejercicio continua aumentando se conoce como potencia aeróbica máxima (PAM) o consumo máximo de oxígeno (VO_{2 max}).

Protocolos:

En general, los protocolos de evaluación deben seguir las siguientes normas (¹⁵):

- Los ritmos de trabajo iniciales deben ser de una intensidad suficientemente baja como para que sirvan de calentamiento. Si se empieza a intensidades de trabajo altas, se corre el riesgo de que la producción de energía oxidativa no pueda alcanzar un ritmo máximo antes de que la acumulación de lactato u otros factores obliguen a la persona a detener la prueba.
- Los incrementos de trabajo progresivos deben ser lo suficientemente pequeños como para evitar incrementos de lactato o de fatiga muscular, pero lo suficientemente grandes como para que la duración total de la prueba no se prolongue hasta un punto en que la depleción de sustratos, temperatura local, ansiedad, malestar físico o aburrimiento obliguen a la persona al abandono. Lo ideal son por tanto cuatro etapas con una duración total de ocho minutos de ejercicio sin exceder en ningún caso los 12 – 14 minutos.
- Es muy importante que el modo de ejercicio con respecto al ritmo, resistencia, masa muscular utilizada y amplitud de conocimiento sea representativo de la actividad física de la persona.
- Es pertinente también que los incrementos de la carga de trabajo no induzcan un cambio en el modo de ejercicio o que alteren la eficiencia o los grupos musculares empleados.

Pruebas continuas vs. Pruebas discontinuas.

Un requisito para alcanzar resultados confiables en la medición del consumo de oxígeno es la estabilización de la carga con un nivel de intensidad adecuado. Esto se puede lograr con métodos continuos o con discontinuos.

Las pruebas que emplean un método discontinuo son pruebas de intensidad constante que duran entre 6 y 8 minutos. Son rápidas para obtener resultados pero resulta difícil establecer la intensidad adecuada y además juzgar si se ha alcanzado el valor máximo. Una de las maneras para resolver dicho inconveniente es realizando pruebas previas donde se pueda precisar el nivel de intensidad apropiado. Generalmente se convierten en pruebas continuas de intensidad progresiva, como las que se explican a continuación.

Las pruebas que emplean un método continuo son pruebas de intensidad creciente a intervalos predeterminados y constantes, hasta que la persona logre la máxima intensidad o el agotamiento. Son un poco más prolongadas que las discontinuas pero permiten determinar con mayor grado de precisión el $VO_{2\text{ max}}$. Sin embargo, si los incrementos son muy grandes es posible que no se logre la meseta o si son muy pequeños, que sea muy prolongada y que se sobreagreguen otros factores. La mayoría de este tipo de protocolos se realizan con intervalos de 1 a 3 minutos o más para que su puedan estabilizar las variables fisiológicas. Otra modalidad son las pruebas en rampa, en la cual la carga se

¹⁵ MacDougal JD., Wenger HA., y Green HL. Evaluación Fisiológica del deportista. Paidotribo: Barcelona. 2000.

incrementa cada minuto a ritmos equivalentes de 300 ml a 600 ml de oxígeno (25 – 50 vatios / min); tienen la ventaja de alcanzar los valores maximales con rapidez.

En otro tipo de pruebas se recurre a una combinación entre etapas iniciales continuas y una final discontinua. MacDougal y col (2000) realizan el protocolo descrito en la tabla 17.

Tabla 17. Prueba en banda sinfín, según MacDougal y col (2000).

Hombres		Mujeres	
No entrenados	Entrenados	No entrenados	Entrenados
13 km/hr	13.8 km/hr	11.3 km /hr	12.2 km/hr
Si la prueba dura menos de 8 minutos → disminuir la velocidad en 0.8 km/hr Si la prueba dura mas de 8 minutos → aumentar la velocidad en 0.8 km/hr			
→ Fase progresiva:			
	Tiempo	% inclinación	
	2 min	0	
	2 min	2	
	2 min	4	
	

Protocolos en Banda Sinfín:

- Protocolo de Bruce Modificado: Para personas limitadas o con baja condición física

Vel (mill/hr)	1.7	1.7	1.7	2.5	3.4	4.2
% Inc	0	5	10	12	14	16
Duración (min)	3	3	3	3	3	3
VO ₂ max (ml/kg/min)	7.0	10.5	17.5	24.5	31.5	45.5
METs	2	4	5	7	9	13

- Protocolo de Bruce

Vel (mill/hr)	1.7	2.5	3.4	4.2	5	5.5
% Inc	10	12	14	16	18	20
Duración (min)	3	3	3	3	3	3
METs	5	7	9	13	16	19

- Protocolo de Balke-Ware

Se inicia a 3.3 mill/h la cual se mantiene constante y se va incrementado cada minuto la inclinación en 1% hasta un máximo de 26%.

- Protocolo de Kynderman.

Vel (mill/hr)	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
% Inc	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Duración (min)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
VO ₂ max (ml/kg/min)	29.5	35.2	41.0	46.7	52.4	58.2	63.9	69.6	75.3	81.1

- Protocolo de Ellestad:

Vel (mill/hr)	1.7	3	4	5	5	6
% Inc	10	10	10	10	15	15
Duración (min)	3	2	3	3	2	3
VO ₂ max (ml/kg/min)	17.5	24.5	28.0	38.5	49.0	56.0

En cicloergómetro:

- Los protocolos de evaluación en este tipo de aparato pueden ser continuos o discontinuos. En general se pedalea a un ritmo de 60 rpm, ritmo en el cual se produce la máxima eficiencia mecánica para personas normales y no entrenadas. Para ciclista profesionales puede estar cerca de 90 rpm.
- Para las últimas etapas (en métodos discontinuos progresivos) conviene disminuir la intensidad de la resistencia (por ejemplo, en vez de 50 Vatios, incrementar 25 Vatios) debido a que se requiere una mayor fuerza muscular para mover la carga. A diferencia de la banda sinfín donde se puede variar la longitud o la frecuencia del paso, en el cicloergómetro no se puede realizar dicha adaptación.
- En la tabla 18 se muestra un ejemplo, propuesto por MacDougal y col (2000).

Tabla 18. Protocolo para trabajo en cicloergómetro.

Tipo	Etapas	Tiempo por etapa	Tiempo acumulado	Carga (Kp)	Vatios	Kp a 60 rpm		Kp a 90 rpm	
I	1	2	2	300	45 - 50	0.75	270	0.5	270
	2	2	4	600	90 - 100	1.50	540	1.0	540
	3	2	6	900	125 - 150	2.25	810	1.5	810
	4	2	8	1.200	175 - 200	3.0	1.080	2.0	1.080
	5	2	10	1.500	225 - 250	3.75	1.350	2.5	1.350
	6	2	12	1.650	250 - 275	4.25	1.485	2.75	1.485
	7	2	14	1.800	275 - 300	4.75	1.710	3.0	1.620
II	1	2	2	600	90 - 100	1.50	540	1.0	540
	2	2	4	900	125 - 150	2.25	810	1.5	810
	3	2	6	1.200	175 - 200	3.0	1.080	2.0	1.080
	4	2	8	1.500	225 - 250	3.75	1.350	2.5	1.350
	5	2	10	1.800	275 - 300	4.50	1.620	3.0	1.620
	6	2	12	2.100	325 - 350	5.25	1.890	3.5	1.890
	7	2	14	2.750	350 - 375	5.75	2.070	3.75	2.025

Pruebas de campo:

Test de Cooper.

Diseñado en 1968 por K. Cooper, consiste en correr durante doce minutos y medir la distancia recorrida. Esta prueba se estandarizó con 115 sujetos en edades entre los 17 y 52 años, con pesos entre 52 y 112 kg, que formaban parte de la fuerza aérea de USA y que corrieron sobre un terreno llano. El consumo de oxígeno se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{VO}_2 \text{ max} = 22,351 * d (\text{Km}) - 11,288$$

El VO_2 se expresa de manera relativa (ml/kg/min.), la distancia en kilómetros. El coeficiente de correlación fue de 0.84. Entre las críticas que se le han presentado a este protocolo están:

- atletas de alto rendimiento mantienen una velocidad de carrera al máximo consumo de O_2 entre 2 y 8 minutos, de manera que doce minutos es inadecuado para personas o sujetos comunes y corrientes,
- los atletas o personas noveles no mantienen el mismo ritmo de carrera.
- La validez es menor en mujeres ($r = 0.65 - 0.75$)

Test de Margaria y col (1975).

Se trata de calcular el $\text{VO}_2 \text{ max}$ a partir de una prueba de carrera con una distancia superior a 1000 metros, distancia en la cual el predominio metabólico es el aeróbico (en un 90%) o de una duración superior a 10 minutos.

Se prevén dos ecuaciones según la distancia elegida.

- Si la distancia son 5000 m o se trabaja mas de diez minutos, la ecuación para tal efecto es :

$$d = 5(\text{VO}_2 \text{ max} - 6) t. \rightarrow \text{VO}_2 \text{ max} = \frac{d + 30t}{5t}$$

La distancia es en metros, el tiempo en minutos y el VO_2 se da en ml/kg/min.

- Si la duración de la prueba es menor de diez minutos, la ecuación es:

$$d = 5(\text{VO}_2 \text{ max} - 6) t + 5 \text{VO}_2 \text{ max}$$

La distancia es en metros, el tiempo en minutos y el VO_2 se da en ml/kg/min.

En ambos casos se debe agregar la resistencia del aire, para lo cual se tiene la siguiente fórmula:

$$d\text{VO}_2 = 525.542 * 10^{-4} * V^3 \text{ (donde V es la velocidad es en k/h)}$$

Prueba de Léger-Boucher (1980).

Esta prueba simula una prueba de evaluación en la banda con intensidades progresivas, es decir, incrementando de manera constante la velocidad de carrera. La velocidad de carrera se establece mediante un silbato o una cinta sonora.

En el diseño original se debe correr en una pista de atletismo donde se colocan marcas cada 50 metros. El sujeto debe encontrarse sobre las marcas cuando suena el silbato. La velocidad se incrementa cada dos minutos. El sujeto inicia corriendo a 8.5 k/h con incrementos de 0.5 Km/h cada dos minutos. La velocidad a la cual sea capaz de mantener al menos dos minutos la carrera, esta será la velocidad aeróbica máxima. La ecuación para el cálculo del consumo de O_2 es:

$$\text{VO}_2 \text{ max} = 1.353 + 3.163 * V + 0.01225 * V^2$$

Donde el VO se da en ml/k/min., la V es Km/h

$$\text{Una ecuación simplificada es } \text{VO}_2 \text{ max} = 3.5 * V$$

Una versión para los casos en que no se poseen pistas de 400 m es la versión de 20 metros, conocidas como test de ida y vuelta o Kurse-Navete. Para este caso, la velocidad se inicia en 8 km/h y se incrementa 0.5 km/h cada minuto. Para el cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$VO_2 \text{ max} = 31,025 + 3,238 * V - 3,248 * e + 0,1536 * V * e$$

Donde **V** = velocidad en Km/h correspondiente a la última etapa completada y **e** es la edad en años.

Esta prueba presenta una correlación de 0,84 con las pruebas directas y un error de predicción del 10%. Su confiabilidad es mayor en sujetos adultos ($r = 0.97$) que en niños ($r=0.80$). El riesgo es la sobrevaloración del consumo de O_2 por lo que se requieren nuevas valoraciones para determinar el verdadero valor.

Prueba de los 1000m/2000m

Jáuregui y col (1994) realizaron una prueba de resistencia aeróbica para escolares colombianos, de ambos sexos, en edades comprendidas entre los 7 y 17 años. La prueba consistió, para los niños entre los 7 y 11 años, correr 1000 metros; para los niños entre 12 y 17 años, correr 2000 metros. La prueba se puede realizar en una pista de 200 m o una de 400 m y se debe correr a una velocidad constante. Se toma el tiempo en minutos y segundos. La medición no se establece en ml de O_2 sino en una escala percentilar en múltiplos de 10 (desde el 10 al 90). Así por ejemplo, una niña de 17 años, con una marca de 12min 6seg se ubica en un percentil 80, queriendo decir, que con respecto a la población colombiana, ella se encuentra por encima del 80% de la población o en una escala categórica de “Bueno”. En la tabla 1 se presentan los valores para los percentiles 25, 50 y 75.

Tabla 19. Prueba de 1000 m (7 a 11 años) y 2000 m (12-16) para escolares colombianos, en la cual el tiempo determina el percentil en el cual se encuentra.

Edad (años)	Niños			Niñas		
	P75	P50	P25	P75	P50	P25
7	5:31	6:06	6:53	6:06	6:43	7:26
8	5:20	5:55	6:34	5:54	6:33	7:24
9	4:59	5:33	6:09	5:46	6:26	7:13
10	4:44	5:19	5:59	5:33	6:15	7:00
11	4:34	5:03	5:45	5:24	6:01	6:45
12	9:50	10:42	12:02	11:40	13:04	14:27
13	9:28	10:14	11:26	11:45	13:05	14:31
14	9:09	9:57	10:52	12:06	13:13	14:41
15	8:47	9:33	10:30	12:24	13:25	14:41
16	8:31	9:15	10:10	12:17	13:34	14:47

Test de la caminata de una milla (Test de Rockport):

$$VO_2(\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}) = 132.853 - 0.1692(m) - 0.3877(E) - 6.315 (S) - 3.2649 (t) - 0.1565 (FC)$$

Donde, **m** = masa (kg); **E** = edad(años); **S** = sexo, si masculino = 1, femenino = 0; **t** = tiempo en min; **FC** = frecuencia cardíaca al final de la prueba

Test de la caminata de 1.5 millas:

$$\text{VO}_2 \text{ (ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}) = 3.5 + 483 / (\text{tiempo en min})$$

Prueba del escalón:

Subir y bajar de un banco implica un proceso de cuatro partes. Una primera es la subida de un pie; una segunda, la subida del otro; una tercera, la bajada del pie y una final, la bajada del segundo pie. El consumo de O₂ de la subida al banco o escalón tiene dos componentes; uno horizontal y otro vertical. El VO₂ horizontal es equivalente a 0.2 ml.kg⁻¹.min⁻¹ por cada ciclo de cuatro apoyos. La demanda vertical (subir) es de 1.8 ml.kg⁻¹.min⁻¹ y debe ser añadido aproximadamente un tercio de este valor por el consumo de bajar, además de agregar el consumo basal.

La siguiente ecuación es apropiada para subir y bajar escalones a un ritmo de 12-30 vpm y para alturas del escalón de 0.04m - 0.40m.

$$\text{VO}_2 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1} = 0.2 (\text{frecuencia}) + 1.33 * 1.8 (\text{altura})(\text{frecuencia}) + 3.5$$

En la *prueba del escalón*, propuesta por McArdle y col. (2001), se sube y baja un escalón de 41 cm, a un ritmo de 24 subidas y bajadas por minuto para los hombres (96 tiempos/min en el metrónomo) y de 22 para las mujeres (88 tiempos/min en el metrónomo), durante un período de tres minutos. Se mide la frecuencia cardiaca desde el 5° hasta el 20° segundo (15 segundos) multiplicándose por 4 el resultado para convertirla en p/min. En la tabla 1 se presenta la clasificación por percentiles tanto para hombre como para mujeres, con el VO_{2 max} estimado. La fórmula para estimar el VO_{2 max} es:

$$\text{Hombres: } 111.23 - (0.42 \times \text{F.C})$$

$$\text{Mujeres: } 65.81 - (0.1847 \times \text{F.C})$$

Tabla 20 . Clasificación en percentiles de la prueba del escalón, tanto para hombre como mujeres.

PERCENTIL	F.C. Mujeres	VO _{2 max} (ml/kg.min)	F.C Hombres	VO _{2 max} (ml/kg.min)
100	128	42.2	120	60.9
95	140	40.0	124	59.3
90	148	38.5	128	57.6
85	152	37.7	136	54.2
80	156	37.0	140	52.5
75	158	36.6	144	50.9
70	160	36.3	148	49.2
65	162	35.9	149	48.8
60	163	35.7	152	47.5
55	164	35.5	154	46.7
50	166	35.1	156	45.8
45	168	34.8	160	44.1
40	170	34.4	162	43.3
35	171	34.2	164	42.5
30	172	34.0	166	41.6
25	176	33.3	168	40.8
20	180	32.6	172	39.1
15	182	32.2	176	37.4
10	184	31.8	178	36.6
5	196	29.6	184	34.1

Tomado de McArdle WD., Katch FF., y Katch VL. 2001. Exercise Physiology. 5 ed. Lippincott Williams y Wilkins: Philadelphia.

Tabla 21. Escala de valoración según el Institute for Aeróbics Research (1994). Los valores se presentan en ml/k/min. de O₂ para personas normales, de ambos sexos, en edades a partir de los 20 años.

Perc entil	Hombres					Mujeres				
	20 – 29	30 – 39	40 – 49	50 - 59	60 +	20 – 29	30 – 39	40 – 49	50 - 59	60 +
90	51.4	50.4	48.2	45.3	42.5	44.2	41.0	39.5	35.2	35.2
80	48.2	46.8	44.1	41.0	41.0	41.0	38.6	36.3	32.3	31.2
70	46.8	44.6	41.8	38.5	38.5	38.1	36.7	33.8	30.9	29.4
60	44.2	42.4	39.9	36.7	36.7	36.7	34.6	32.3	29.4	27.2
50	42.5	41.0	38.1	35.2	35.2	35.2	33.8	30.9	28.2	25.8
40	41.0	38.9	36.7	33.8	33.8	33.8	32.3	29.5	26.9	24.5
30	39.5	37.4	35.1	32.3	32.3	32.3	30.5	28.3	25.5	23.8
20	37.1	35.4	33.0	30.2	30.2	30.6	28.7	26.5	24.3	22.8
10	34.5	32.5	30.9	28.0	28.0	28.4	26.5	25.1	22.3	20.8

CALCULOS METABÓLICOS

Un aspecto fundamental de las pruebas y de la prescripción del ejercicio físico es medir o estimar el gasto de energía durante el ejercicio. A causa del ejercicio, así como a todos los eventos metabólicos, se produce calor, siendo la rata de calor producido directamente proporcional a la energía gastada.

CALORIMETRÍA

La producción de calor en humanos es medida por medio de la calorimetría indirecta (por medios directos es difícil) empleando el consumo de oxígeno (VO₂) de un ejercicio en particular, el cual debe ser esencialmente aeróbico. Si el ejercicio es de carácter anaeróbico, se sobreestima el gasto de energía.

El gasto energético basal se define como el gasto energético de un individuo en posición cómoda y relajada, equivalente a un VO₂ 3.5 ml*kg⁻¹*min⁻¹ (¹⁶). Con la edad, se produce una reducción de un 2% por década (¹⁷). Las mujeres tienen un costo metabólico basal menor que el de los hombres por tener menor masa magra con mayor grasa corporal.

El consumo energético en reposo varía entre 200-250 ml/min de oxígeno. La relación entre VO₂ y peso corporal equivale al costo en ml/O₂ por Kg de peso (ml*kg⁻¹*min⁻¹). En una persona de 60 kg y 220 ml/O₂ por minuto, dicha relación equivale a 3,6 ml*kg⁻¹*min⁻¹ o una persona de 70 kg con 250 ml/O₂ estaría consumiendo 3,5 ml*kg⁻¹*min⁻¹. Este consumo basal se denomina 1MET y aproximadamente equivale a 3,5 ml*kg⁻¹*min⁻¹. En calorías, 1 MET es igual a 1 Kcal.min⁻¹, derivado de la equivalencia de que 1.000 ml*min⁻¹ consumen % kcal.min⁻¹; 200 ml.min⁻¹ (costo metabólico en reposo) consumen 5 veces menos energía, es decir, 1 kcal.min⁻¹.

En la tabla 19, 20 y 21 se presentan maneras de utilización de los METs en la determinación de la intensidad de las actividades físicas.

¹⁶ Ainsworth, BE, Haskel WL., Lenon AS., y col. 1993. Compendium of physical activities classification of energy costs of human physical activities. *Med Sce Sports Exerc.*, 25(1):71-80.

¹⁷ McArdle WD., Katch FF., y Katch VL. 2001. *Exercise Physiology*. 5 ed. Lippincott Williams y Wilkins: Philadelphia.

Tabla 22. Caracterización en METs de la intensidad de las actividades física recreativas en relación con la edad (¹⁸)

Categoría	%VO ₂ max	Jóvenes	Edad media	Viejos	Muy viejos
Reposo	< 10	1.0	1.0	1.0	1.0
Muy suave	< 35	< 4.5	< 3.5	< 2.5	< 1.5
Suave	< 50	< 6.5	< 5.0	< 3.5	< 2.0
Moderado	< 70	< 9.0	< 7.0	< 5.0	< 2.8
Duro	> 70	> 9.0	> 7.0	> 5.0	> 2.8
Máximo	100	13.0	10.0	7.0	4.0

Tabla 23. Requerimientos aproximados en METs para eventos de caminata.

	m*min ⁻¹	45.6	53.6	67.0	80.4	91.2	100.2
	m.seg ⁻¹	0.8	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7
% Inclina	km.hr ⁻¹	2.7	3.2	4.0	4.8	5.5	6.0
0		2.3	2.5	2.9	3.3	3.6	3.9
2.5		2.9	3.2	3.8	4.3	4.8	5.2
5.0		3.5	3.9	4.6	5.4	5.9	6.5
7.5		4.1	4.6	5.5	6.4	7.1	7.8
10.0		4.6	5.3	6.3	7.4	8.3	9.1
12.5		5.2	6.0	7.2	8.5	9.5	10.4
15.0		5.8	6.6	8.1	9.5	10.6	11.7
17.5		6.4	7.3	8.9	10.5	11.8	12.9
20.0		7.0	8.0	9.8	11.6	13.0	14.2
22.5		7.6	8.7	10.6	12.6	14.2	15.5
25.0		8.2	9.4	11.5	13.6	15.3	16.8

Tabla 24. Requerimientos aproximados en METs para eventos de trote o carrera horizontal o en colina

	m*min ⁻¹	134	161	188	214	241	268
	m.seg ⁻¹	2.1	2.6	3.1	3.5	4.0	4.4
% Inclina	km.hr ⁻¹	7.6	9.4	11.2	12.6	12.4	15.8
0		8.6	10.2	11.7	13.3	14.8	16.3
2.5		9.5	11.2	12.9	14.7	16.3	18.0
5.0		10.3	12.3	14.1	16.1	17.9	19.7
7.5		11.2	13.3	15.3	17.4	19.4	
10.0		12.0	14.3	16.5	18.8		
12.5		12.9	15.4	17.7			
15.0		13.8	16.4	18.9			

El VO₂ puede ser estimado de manera absoluta o de manera relativa. Cuando se estima de manera absoluta, se expresa en unidades de litro por minuto (L.min⁻¹). De esta manera, el gasto energético puede ser estimado pues un consumo de **1 L.min⁻¹ O₂ requiere la liberación de 5Kcal (20.9 kJ) de energía.**

De la manera relativa, el VO₂ se da en unidades de mililitros por kilogramo de peso corporal por minuto (ml.kg⁻¹.min⁻¹). Esta forma se usa cuando se desea comparar sujetos

¹⁸ Bouchard C., y col. (1990). Exercise, fitness and health: a consensus of current knowledge. Champaign, IL: Human Kinetics.

de diferente tamaño corporal. En esta forma se pueden variar las unidades relativas a masa magra, a superficie corporal u otros índices requeridos.

Cuando no es posible medir del VO_2 directamente, se pueden realizar estimaciones razonables durante la fase de estado estable. Se han realizado ecuaciones de regresión a partir de estudios realizados en laboratorios especializados. Estas ecuaciones son apropiadas para mediciones de tipo clínico o poblacional que no impliquen gran precisión en su determinación. Puede permitir mediciones de ejercicios en el campo (caminar, correr) o dentro de un laboratorio.

Las siguientes precauciones deben ser tenidas en cuenta:

- La medición del VO_2 a un nivel de trabajo es altamente reproducible para una persona en particular; sin embargo, la variabilidad intersujetos tiene un error estandar de 7%.
- Estas ecuaciones son apropiadas para estados estables submáximos de actividad aeróbica.
- Aunque la precisión de estas mediciones no son afectadas por la mayoría de las influencias ambientales (calor o frío), variables que cambian la eficiencia mecánica (anormalidades de la marcha, viento, nieve, arena), resultan en una gran pérdida de precisión.
- Se asume que los equipos utilizados están bien calibrados y que son usados apropiadamente.

ECUACIONES METABÓLICAS.

La tabla 22 presentan las ecuaciones metabólicas para actividades como caminar, correr, subir escalones, ergometría de brazos y de piernas.

Para los cálculos citados, es importante tener tablas de conversión entre las diferentes unidades de medición de la velocidad, pues las ecuaciones emplean básicamente la velocidad en metros por minuto.

Tabla 25. Ecuaciones metabólicas para estimación del VO₂ en unidades relativas.

VO ₂ (unidades)	=	Componente Reposo	+	Componente Horizontal	+	Componente vertical	Comentarios
Caminata (ml/kg.min)	=	3.5	+	m/min x 0.1	+	inclinación x m/min x 1.8	Para velocidades entre 50 -100 m/min
Carrera (ml/kg.min)	=	3.5	+	m/min x 0.2	+	inclinación x m/min x 0.9	Para velocidades mayores de 134 m/min
Escalón (ml /kg.min)	=	3.5		subidas/min x 0.20	+	mts/escalón x pasos/min x 1.33 x 1.8	Para Frec 12-30 sub/min Altura= 0.04-0.40m
Ergometría Piernas	=	7	+	10.8 * W.M ⁻¹			
Ergometría Brazos	=	3.5	+	18 * W.M ⁻¹			

- CAMINAR Y CORRER

Durante la marcha, se necesita aproximadamente 0.1 ml de O₂ para trasportar cada Kg de masa corporal por metro de distancia horizontal recorrida. La demanda de O₂ es mayor cuando se corre, llegando a ser el doble, es decir, 0.2 ml O₂ por Kg por metro.

La demanda de O₂ cuando subimos o ascendemos nuestro cuerpo es de 1.8 ml O₂/Kg/m. Cuando se conoce la altura de banco en el cual estamos haciendo actividad, el cálculo resulta fácil. No así, cuando solo conocemos la inclinación del terreno o de la banda sin fin. En este sentido, este ascenso ocasiona el entender el concepto de pendiente para calcular el ascenso neto, Así, cuando una banda sin fin tiene una pendiente de 20%, quiere decir que la relación entre la distancia vertical y la horizontal es de 0.20.

El VO₂ corriendo en banda sin fin inclinada es la mitad que caminando (0.9 ml O₂ /Kg/m); correr en terreno inclinado tiene el mismo costo que correr con la misma inclinación en la banda; el VO₂ en estado de reposo es de 3.5 ml.kg⁻¹.min⁻¹

Caminar: La siguiente ecuación es apropiada para velocidades entre 50 y 100 m.min⁻¹ (1.9 a 3.7 mph ¹⁹)(0.8 – 1.6 m/s) (3 – 6 km/h).

$$\text{VO}_2 \text{ (ml.kg}^{-1}\text{.min}^{-1}\text{)} = 0.1 \text{ (Velocidad (m/min))} + 1.8 \text{ (Velocidad (m/min))} * \text{(pendiente)} + 3.5$$

Correr: apropiada para velocidades entre 80 m.min⁻¹ (1.3 m/s)(4.8 km/h) y 134 m.min⁻¹ (8 m/s) (8 km/h).

$$\text{VO}_2 \text{ (ml.kg}^{-1}\text{.min}^{-1}\text{)} = 0.2 \text{ (Velocidad (m/min))} + 0.9 \text{ (Velocidad(m/min))} * \text{(pendiente)} + 3.5$$

¹⁹ 1 milla / hora = 26.8 m.min⁻¹ ; 1 km/h = 16.67 m.min⁻¹

- **ERGOMETRIA DE BRAZOS Y DE PIERNAS**

Realizar una ergometría con los miembros inferiores supone un VO_2 que es directamente proporcional a la carga externa y al consumo en reposo. A 50-60 rpm, el consumo de O_2 en una bicicleta estática es aproximadamente $3.5 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ por encima del consumo en reposo. El costo de la carga externa es aproximadamente $1.8 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ (como en el costo del consumo vertical caminando) mas el consumo de O_2 en reposo.

Cuando se realiza una ergometría de brazos, el costo de O_2 se incrementa a $3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ por la acción de los músculos del tronco que estabilizan los miembros superiores, debiéndose sumar el costo basal.

Para los cálculos se deben tener presentes las siguientes fórmulas:

$P = \text{potencia (vatios)}$

$$P = R * D * f$$

Donde

$R = \text{resistencia en Newtons}$

$D = \text{distancia que recorre la rueda en cada pedalazo}$

$f = \text{el tiempo para un ciclo de pedaleo}$

$$1 \text{ Watio} = 6.12 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1} O_2$$

La distancia por pedalazo es de 6 m en las bicicletas Monark para ergometría de piernas; 3 m en las Tunturi; 2.4 m en las Monark para ergometría de brazos.

Piernas: apropiada para velocidades entre 50 y 200 W (300 y 1200 Kg.m.min)

$$VO_2 (\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}) = 1.8 (\text{Trabajo} / \text{Masa (kg)}) + 7$$

Brazos: apropiada para velocidades entre 25 y 125 W (150 y 750 Kg.m.min)

$$VO_2 (\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}) = 3 (\text{Trabajo} / \text{Masa (kg)}) + 3.5$$

- **ERGOMETRÍA DE BANCO**

Subir y bajar de un banco implica un proceso de cuatro partes. Una primera es la subida de un pie; una segunda, la subida del otro; una tercera, la bajada del pie y una final, la bajada del segundo pie. El consumo de O_2 de la subida al banco o escalón tiene dos componentes; uno horizontal y otro vertical. El VO_2 horizontal es equivalente a $0.2 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ por cada ciclo de cuatro apoyos. La demanda vertical (subir) es de $1.8 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ y debe ser añadido aproximadamente un tercio de este valor por el consumo de bajar, además de agregar el consumo basal.

Escalón: La siguiente ecuación es apropiada para subir y bajar escalones a un ritmo de 12-30 vpm y para alturas del escalón de 0.04-0.40m.

$$VO_2 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1} = 0.2 (\text{frecuencia}) + 1.33 * 1.8 (\text{altura})(\text{frecuencia}) + 0.5$$

En la *prueba del escalón*, propuesta por McArdle y col. (2001), se sube y baja un escalón de 41 cm, a un ritmo de 24 subidas y bajadas por minuto para los hombres (96 tiempos/min en el metrónomo) y de 22 para las mujeres (88 tiempos/min en el metrónomo), durante un período de tres minutos. Se mide la frecuencia cardiaca desde el 5° hasta el 20° segundo (15 segundos) multiplicándose por 4 el resultado para convertirla en p/min. En la tabla 20 se presenta la clasificación por percentiles tanto para hombre como para mujeres, con el $VO_{2\text{ max}}$ estimado. La fórmula para estimar el $VO_{2\text{ max}}$ es:

$$\text{Hombres: } 111.23 - (0.42 \times \text{F.C})$$

$$\text{Mujeres: } 65.81 - (0.1847 \times \text{F.C})$$

Tabla 26 . Clasificación en percentiles de la prueba del escalón, tanto para hombre como mujeres.

PERCENTIL	F.C. Mujeres	$VO_{2\text{ max}}$ (ml/kg.min)	F.C Hombres	$VO_{2\text{ max}}$ (ml/kg.min)
100	128	42.2	120	60.9
95	140	40.0	124	59.3
90	148	38.5	128	57.6
85	152	37.7	136	54.2
80	156	37.0	140	52.5
75	158	36.6	144	50.9
70	160	36.3	148	49.2
65	162	35.9	149	48.8
60	163	35.7	152	47.5
55	164	35.5	154	46.7
50	166	35.1	156	45.8
45	168	34.8	160	44.1
40	170	34.4	162	43.3
35	171	34.2	164	42.5
30	172	34.0	166	41.6
25	176	33.3	168	40.8
20	180	32.6	172	39.1
15	182	32.2	176	37.4
10	184	31.8	178	36.6
5	196	29.6	184	34.1

Tomado de McArdle WD., Katch FF., y Katch VL. 2001. Exercise Physiology. 5 ed. Lippincott Williams y Wilkins: Philadelphia.

- PROTOCOLO DE BRUCE:

En sujetos que pueden realizar la prueba en banda sin tomarse del soporte o manubrio:

$$VO_2 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1} = 14.8 - 1.379(\text{tiempo en min}) + 0.451(t^2) - 0.012(t^3)$$

$$\text{Error estandar} = 3.55 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$$

En sujetos que pueden realizar la prueba en banda tomándose del soporte o manubrio:

$$VO_2 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1} = 2.282(\text{tiempo en min}) + 8.545$$

$$\text{Error estandar} = 4.92 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$$

- TEST DE CAMPO:

Cuando se deben examinar una gran cantidad de personas o cuando no se pueden utilizar instrumentos estandarizados, se usan pruebas de campo para predecir el VO_2 max.

Las pruebas consisten en caminar o correr una determinada distancia y medir el tiempo empleado o lo contrario, correr durante un tiempo fijo y medir la distancia recorrida. Algunos test tienen en cuenta el sexo, la edad o el peso corporal.

Test de la caminata de una milla (Test de Rockport):

$$VO_2 \text{ (ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}) = 132.853 - 0.1692(m) - 0.3877(E) - 6.315 (S) - 3.2649 (t) - 0.1565 (FC)$$

Donde, m = masa (kg); E = edad(años); S = sexo, si masculino = 1, femenino = 0;
t = tiempo en min;
FC = frecuencia cardíaca al final de la prueba

Test de la caminata de 1.5 millas:

$$VO_2 \text{ (ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}) = 3.5 + 483 / (\text{tiempo en min})$$

En una investigación patrocinada por Coldeportes (²⁰), estableció y estandarizó dos pruebas de campo para medir la capacidad aeróbica de los escolares. Una de 1.000 metros para niños y niñas entre 7 y 11 años y otra de 2.000 metros para edades entre los 12 y 16 años. Para ambas pruebas se registra el tiempo en minutos:segundos. La tabla 24 escoge el percentil 75, 50 y 25

Tabla 27. **Prueba de 1000 m (7 a 11 años) y 2000 m (12-16) para escolares colombianos, en la cual el tiempo determina el percentil en el cual se encuentra.**

Edad (años)	Niños			Niñas		
	P75	P50	P25	P75	P50	P25
7	5:31	6:06	6:53	6:06	6:43	7:26
8	5:20	5:55	6:34	5:54	6:33	7:24
9	4:59	5:33	6:09	5:46	6:26	7:13
10	4:44	5:19	5:59	5:33	6:15	7:00
11	4:34	5:03	5:45	5:24	6:01	6:45
12	9:50	10:42	12:02	11:40	13:04	14:27
13	9:28	10:14	11:26	11:45	13:05	14:31
14	9:09	9:57	10:52	12:06	13:13	14:41
15	8:47	9:33	10:30	12:24	13:25	14:41
16	8:31	9:15	10:10	12:17	13:34	14:47

²⁰ Jáuregui, G., y Ordóñez N. 1994. Aptitud Física: Pruebas estandarizadas en Colombia. Santafé de Bogotá: Coldeportes.

Perceñ-til	Hombres					Mujeres				
	20 - 29	30 - 39	40 - 49	50 - 59	60 +	20 - 29	30 - 39	40 - 49	50 - 59	60 +
90	51.4	50.4	48.2	45.3	42.5	44.2	41.0	39.5	35.2	35.2
80	48.2	46.8	44.1	41.0	38.1	41.0	38.6	36.3	32.3	31.2
70	46.8	44.6	41.8	38.5	35.3	38.1	36.7	33.8	30.9	29.4
60	44.2	42.4	39.9	36.7	33.6	36.7	34.6	32.3	29.4	27.2
50	42.5	41.0	38.1	35.2	31.8	35.2	33.8	30.9	28.2	25.8
40	41.0	38.9	36.7	33.8	30.2	33.8	32.3	29.5	26.9	24.5
30	39.5	37.4	35.1	32.3	28.7	32.3	30.5	28.3	25.5	23.8
20	37.1	35.4	33.0	30.2	26.5	30.6	28.7	26.5	24.3	22.8
10	34.5	32.5	30.9	28.0	23.1	28.4	26.5	25.1	22.3	20.8

- Conversiones comunes:

$$\begin{aligned} \updownarrow & (\text{Gasto calórico en kcal.min}^{-1}) / 5 = \text{VO}_2 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1} \\ \updownarrow & (\text{VO}_2 \text{ en L}^*.\text{min}^{-1})(1000)/(\text{masa en Kg}) = \text{VO}_2 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1} \\ \updownarrow & \text{METs} \times 3.5 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1} = \text{VO}_2 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1} \\ \updownarrow & (\text{Potencia en vatios}) \times 6 = \text{carga en Kg.m.min}^{-1} \end{aligned}$$

APLICACIÓN PRÁCTICA:

Un hombre de 30 años de edad tiene una frecuencia cardíaca de reposo de 60 pm, una frecuencia cardíaca máxima de 190 pm, un peso de 180 lb., y un $\text{VO}_2 \text{ max}$ de $48 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. El desea iniciar un programa de actividad física en el cual pueda:

- 1) caminar sobre la banda a 3.5 millas por hora
- 2) pedalear en un cicloergómetro a una velocidad confortable

Usted decide iniciar su prescripción de ejercicio a una intensidad del 70% del $\text{VO}_2 \text{ max}$.

- ¿Cuál es el VO_2 a dicha intensidad?

$$\begin{aligned} \text{VO}_2 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1} &= \text{VO}_2 \text{ max} * \% \text{ intensidad} \\ \text{VO}_2 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1} &= 48 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1} * 0.70 \\ \text{VO}_2 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1} &= 33.6 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1} \end{aligned}$$

- ¿Qué tan inclinada debe estar la banda si él desea caminar a 3 millas/hr?

$$\begin{aligned} 1 \text{ mill / hr} &= 26.8 \text{ m/min} \\ 3 \text{ mill/hr} &= 26.8 * 3 = 93.8 \text{ m/min} \\ \text{VO}_2 &= 0.1 (V) + 1.8 (\text{vel})(\text{pendiente}) + 3.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 33.6 &= 0.1 (93.8) + 1.8(93.8)(\text{pendiente}) + 3.5 \\ 33.6 &= 9.38 + 168.8 (\text{pendiente}) + 3.5 \\ 168.8 (\text{pendiente}) &= 33.6 - 9.38 - 3.5 \\ 168.8 (\text{pendiente}) &= 20.7 \\ \text{pendiente} &= 20.7 / 168.8 \\ \text{pendiente} &= 0.123 \\ \text{pendiente} &= 12.3\% \end{aligned}$$

- ¿Cuál sería la carga en la bicicleta Monark?

$$\begin{aligned}
 1 \text{ Kg} &= 2.2 \text{ lb} \\
 180 \text{ lb} &= 180/2.2 = 81.8 \text{ kg} \\
 \text{VO}_2 &= 7.0 + 1.8 (\text{carga})/(\text{masa}) \\
 33.6 &= 7.0 + 1.8 (\text{carga})/81.8 \\
 33.6 - 7.0 &= 1.8 (\text{carga})/81.8 \\
 26.6 &= 1.8 (\text{carga})/81.8 \\
 1.8 (\text{carga}) &= 26.6 * 81.8 \\
 1.8 (\text{carga}) &= 2176 \\
 \text{carga} &= 2176 / 1.8 \\
 \text{Carga} &= 1209 \text{ kg.m.min}^{-1}
 \end{aligned}$$

- Si está pedaleando a 60 rpm, en la misma bicicleta Monark, cual será la resistencia?

$$\begin{aligned}
 \text{Carga} &= \text{Resistencia} * \text{Distancia} * \text{frecuencia de pedaleo} \\
 1209 &= \text{Resistencia} * 6 * 60 \\
 \text{Resistencia} &= 1209 / (6 * 60) \\
 \text{Resistencia} &= 1209 / (360) \\
 \text{Resistencia} &= 3.36 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- ¿Cuál será el gasto calórico durante 30 min de ejercicio?

$$\begin{aligned}
 \text{VO}_2 \text{ absoluto} &= (33.6 - 3.5) * \text{masa} / 1000 \\
 \text{VO}_2 \text{ absoluto} &= (30.1) * 81.8 / 1000 \\
 \text{VO}_2 \text{ absoluto} &= 2.46 \text{ L.min}^{-1} \\
 1 \text{ L.min}^{-1} &= 5 \text{ kcal.min}^{-1} \\
 2.46 \text{ L.min}^{-1} &= 2.46 * 5 = 12.3 \text{ Kcal.min}^{-1} \\
 12.3 \text{ Kcal.min}^{-1} * 30 \text{ min} &= 369 \text{ Kcal}
 \end{aligned}$$

- Cual será la frecuencia cardiaca para esa intensidad según el método de Karvonen o de la frecuencia cardiaca de reserva?

$$\begin{aligned}
 \text{FC} &= \text{Intensidad} * (\text{FCM} - \text{FCR}) + \text{FCR} \\
 \text{FC} &= 0.70 * (190 - 60) + 60 \\
 \text{FC} &= 0.70 * (130) + 60 \\
 \text{FC} &= 91 + 60 \\
 \text{FC} &= 151
 \end{aligned}$$

BIBLIOGRAFIA

1. HARRISON. Principios de Medicina Interna. 15a ed. MacGraw Hill: Madrid. 2001.
2. SIXTH REPORT OF THE JOINT COMMITTEE ON PREVENTION, DETECTION, EVALUATION AND TREATMENT OF HIGH BLOOD PRESSURE (JNCVI), PUBLIC HEALTH SERVICE, NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH, NATIONAL HEART, LUNG AND BLOOD INSTITUTE. NIH Publication No. 98-4080, November, 1997.
3. MILLER A. Pulmonary function test in clinical and occupational lung disease. Orlando: Grune & Stratton, 1986.
4. WASSERMAN K., HANSEN JE., SUE DY., et al. Principles of Exercise Testing. Philadelphia: Lea & Febiger. 1987.
5. EXPERT PANEL. Executive summary of the clinical guidelines on the identification, evaluation and treatment of overweight and obesity in adults. *Arch Int Med.* 158: 1855-1867. 1998.
6. ROCHE AF. Anthropometry and ultrasound. En: Roche AF, Heymsfield SB., Lohman TG, eds Human Body Composition. Champaign, IL: Human Kinetics, 1996: 167-189.
7. HEYWARD VH., STOLARCYK LM. Applied Body Composition Assessment. Champaign IL.: Human Kinetics, 1996.
8. JACKSON AS., y POLLOCK ML. Practical assessment of body composition. *Physician Sport Med.*, 1985; 13:76-90.
9. INSTITUTE OF AEROBICS RESEARCH, Dallas, TX (1994).
10. KRAMER WJ., FRY AC. Strength testing: development and evaluation of methodology. En: Maud PJ., Foster C., eds. Physiological Assessment of Human Fitness. Champaign, IL Human Kinetics, 1995:115-138.
11. GRAVES JE., POLLOCK ML., BRYANT CX. Assessment of muscular strength and endurance. En: Roitman JL., ed. ACSM's Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 3rd ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1998:363-367.
12. FAULKNER RA., Springings ES., McQuarrie A., et al. A partial curl-up protocol for adults based on an analysis of two procedures. *Can J Sport Sci.*, 1989; 14:135-141.
13. CANADIAN STANDARDIZED TEST OF FITNESS OPERATIONS MANUAL. 3rd ed. Ottawa: Fitness and Amateur Sport Canada, 1986.
14. SERRA, J.R. Prescripción de ejercicio físico para la Salud. Barcelona: Paidotribo. 1996.
15. MACDOUGAL JD., WENGER HA., Y GREEN HL. Evaluación Fisiológica del deportista. Paidotribo: Barcelona. 2000.
16. AINSWORTH, BE, HASKEL WL., LENON AS., y col. 1993. Compendium of physical activities classification of energy costs of human physical activities. *Med Sce Sports Exerc.*, 25(1):71-80.
17. MCARDLE WD., KATCH FF., Y KATCH VL. 2001. Exercise Physiology. 5 ed. Lippincott Williams y Wilkins: Philadelphia.
18. BOUCHARD C., y col. (1990). Exercise, fitness and health: a consensus of current knowledge. Champaign, IL: Human Kinetics.
19. --
20. JÁUREGUI, G., Y ORDÓÑEZ N. 1994. Aptitud Física: Pruebas estandarizadas en Colombia. Santafé de Bogotá: Coldeportes.
- 20.