



# **CONTROL BIOMÉDICO**

del entrenamiento deportivo



**GRUPO DE MEDICINA DEPORTIVA Y**  
Ciencias aplicadas al deporte



**Universidad  
Pontificia  
Bolivariana**

© Indeportes Antioquia  
© Editorial Universidad Pontificia Bolivariana  
Vigilada Mineducación

**Control biomédico del entrenamiento deportivo**

ISBN: 978-958-764-770-9

ISBN: 978-958-764-778-5 (versión digital)

DOI: <http://doi.org/10.18566/978-958-764-778-5>

Primera edición, 2019

**Gran Canciller UPB y Arzobispo de Medellín:**

Mons. Ricardo Tobón Restrepo

**Rector General:**

Pbro. Julio Jairo Ceballos Sepúlveda

**Vicerrector Académico:**

Álvaro Gómez Fernández

**Editor:**

Juan Carlos Rodas Montoya

**Compilador:**

Felipe Eduardo Marino Isaza

**Coordinación de Producción:**

Ana Milena Gómez Correa

**Diseño y Diagramación:**

Mauricio Morales Castrillón

**Corrección de Estilo:**

Delio David Arango

**Fotografía:**

Rodrigo Mora Quiroz - Indeportes Antioquia

**Dirección Editorial:**

Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 2019

Correo electrónico: [editorial@upb.edu.co](mailto:editorial@upb.edu.co)

[www.upb.edu.co](http://www.upb.edu.co)

Telefax: (57)(4) 354 4565

A.A. 56006 - Medellín - Colombia

Radicado: 1575-08-05-17

*Prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier medio o para cualquier propósito sin la autorización escrita de la Editorial Universidad Pontificia Bolivariana y de Indeportes Antioquia.*

## **JUNTA DIRECTIVA INDEPORTES ANTIOQUIA**

Luis Pérez Gutiérrez  
*Gobernador*

Baltazar Medina  
*Presidente Comité Olímpico Colombiano  
Representante de Coldeportes*

Néstor David Restrepo Bonnett  
*Secretario de Educación Departamental  
Representante del Sector Educativo*

Henry Palacios Valencia  
*Gerente Inder Apartadó  
Representante de los entes deportivos municipales*

Héctor Alonso Monroy Escudero  
*Director Ejecutivo Liga Antioqueña de Tenis de Campo  
Representante de las Ligas Deportivas de Antioquia*

Lisana Sofía Sánchez Ledesma  
*Gerente de Indeportes Antioquia  
Invitada*

Mariola González Villa  
*Jefe Oficina Jurídica Indeportes Antioquia  
Secretaria*

## **COMITÉ DE GERENCIA**

Lisana Sofía Sánchez Ledesma  
*Gerente de Indeportes Antioquia*

William de Jesús Moncada Ospina  
*Subgerencia de Fomento y Desarrollo Deportivo*

Alpidio Betancur Zuluaga  
*Subgerencia Administrativo y Financiero*

Luis Eduardo Cuervo Tafur  
*Subgerencia de Deporte Asociado y Altos Logros*

Catalina Pérez Zabala  
*Asesora de Gerencia*

Lina María Galeano Zapata  
*Oficina de Talento Humano*

Óscar Mario Cardona Arenas  
*Oficina de Medicina Deportiva*

Lucrecia Londoño Builes  
*Oficina de Control Interno*

Álvaro Alonso Villada García  
*Oficina de Sistemas y Apoyo Financiero*

Fredy Rodríguez Agudelo  
*Oficina Asesora de Planeación*

Diana Milena Jaramillo Pérez  
*Oficina Asesora de Comunicaciones*

Mariola González Villa  
*Oficina Jurídica*

# EVA LUA CIÓN

**FUNCIONAL EN EL LABORATORIO  
DE FISIOLÓGÍA, PROTOCOLOS  
PARA DETERMINAR  
LA CAPACIDAD AERÓBICA**



Evaluación funcional  
en el laboratorio de fisiología,  
**PROTOSCOLOS PARA**  
determinar la capacidad aeróbica

*Luis Hernando Valbuena Ruiz, Lic. EF. Esp.*

**A**xisten diferentes protocolos para determinar la capacidad aeróbica de los deportistas de rendimiento. Uno de los parámetros que más se ha estudiado es el consumo máximo de oxígeno (VO2 Max).

El consumo máximo de oxígeno (VO2 Max) se define como la mayor cantidad de oxígeno que un organismo puede extraer, transportar y utilizar durante la realización de un ejercicio máximo, a nivel del mar y durante el cual participa el mayor número posible de grupos musculares. Es el indicador más empleado para controlar la eficiencia en la utilización de los procesos energéticos aeróbicos por el organismo durante el trabajo físico, y puede alcanzar valores desde 35 ml/kg/min en una persona sedentaria, hasta 90 ml/kg/min, en un atleta entrenado. El VO2 Max depende de varios factores: la genética, la edad, el sexo, la composición corporal y el grado de entrenamiento.

Para la medición del VO2 Max en el laboratorio se requiere de equipos sofisticados y personal especializado; sin embargo, puede ser calculado en forma práctica y sencilla aplicando pruebas de campo, que tienen la ventaja de semejar las condiciones en las cuales se desempe-

ña el atleta, la especificidad para cada deporte, la simplicidad y la posibilidad de recursos y estrategias tales como nomogramas, ecuaciones y *software* para la predicción del VO<sub>2</sub> Max. Por lo cual, es un desafío para los investigadores, fisiólogos, entrenadores y técnicos la tarea de validar, promover y aplicar estas pruebas.

Investigadores interesados en la evaluación del VO<sub>2</sub> Max han encontrado una relación lineal directa entre esta variable y la intensidad del esfuerzo, lo que ha permitido establecer modelos matemáticos para calcular el VO<sub>2</sub> Max en función del trabajo realizado.

Entre las pruebas de campo más utilizadas por la Asesoría de Medicina Deportiva de Indeportes Antioquia (que permiten determinar VO<sub>2</sub> Max a partir de una ecuación o nomograma) están la de 2.000 metros (que consiste en recorrer esta distancia en el menor tiempo posible) y la *prueba de ida y vuelta* de Leger-Boucher o *la del yo-yo* test creado por Jens Bangsbo en Dinamarca (la cual ha probado ser una de las pruebas indirectas más fiables en todo el mundo). Su objetivo es muy claro: estimar el consumo máximo de oxígeno de forma progresiva (aumenta su dificultad en el tiempo) y maximal (termina cuando el atleta ya no puede continuar con la prueba).

Y el protocolo más empleado para medir el VO<sub>2</sub> Max en el Laboratorio de Fisiología del Ejercicio es la rampa, mediante el uso de la banda o la bicicleta, dependiendo de la modalidad deportiva.

## Protocolo utilizado para la **ERGOESPIROMETRÍA EN BANDA RODANTE**

Para la realización de esta prueba se utilizan dos protocolos incrementales o progresivos, con aumento gradual del trabajo, de forma más o menos brusca, hasta conseguir el agotamiento del deportista.

### Recomendaciones para su realización

- El deportista debe estar en buen estado de salud.
- El deportista no debe entrenar a altas intensidades por lo menos veinticuatro horas antes de la prueba.
- No haber ingerido comidas pesadas por lo menos dos horas antes de la prueba.

- Debe tener una ropa adecuada para realizar ejercicio.
- La persona que realice la evaluación debe estar capacitada y familiarizada con los equipos que va a utilizar.

## Protocolo en banda para determinar umbral **ANAERÓBICO POR EL MÉTODO METABÓLICO**

**Objetivo:** determinar la capacidad aeróbica y el umbral del lactato, y observar el comportamiento de la glicemia y algunas hormonas que se modifican con el ejercicio.

**Aplicación:** se utiliza para evaluar deportistas de maratón, media maratón, marcha y atletismo fondo.

### 1. Período de preparación

- Calentamiento y calibración del equipo analizador de gases.
- Examen médico general del deportista.
- Reposo del deportista durante 10 minutos.
- Frotar el lóbulo de la oreja del deportista con Finalgon (hiperhemizante) para facilitar una vasodilatación, asegurándose de esta manera una adecuada toma de muestras durante la prueba.
- Preparación del deportista y explicación de la prueba que va a realizar.
- Se toman los parámetros ergoespirométricos en reposo, estando el deportista en posición sentado durante 3 minutos.
- Se toma una muestra de 20 (ml) microlitros de sangre del lóbulo de la oreja, para determinar los valores del lactato en reposo.
- Se toma una muestra de sangre del pulpejo de uno de los dedos de la mano derecha, para determinar los valores de la glicemia en reposo.

### 2. Período de calentamiento

- Carga inicial de 3.5 mph durante 3 minutos, con una inclinación constante de la banda de 1 %.

### 3. Período de esfuerzo

- Incrementos de velocidad de 1 mph cada 5 minutos hasta el agotamiento (tener en cuenta los parámetros fisiológicos para suspender la prueba o cuando el deportista indique que no puede continuar).
- Registrar todos los parámetros ergoespirométricos cada 5 minutos o menos, si la prueba lo requiere.
- Se toma una muestra de 20 ml de sangre del lóbulo de la oreja 15 segundos antes de finalizar cada escalón de 5 minutos.
- Al terminar cada escalón el deportista debe señalar en la escala de Borg la percepción subjetiva al esfuerzo que está realizando.

### 4. Período de recuperación

- En este periodo el deportista continúa caminando con una intensidad y duración similar al calentamiento (3.5 mph) durante 3.
- Continuar 2 minutos más de recuperación pasiva en posición de pies.
- Registrar los valores a los minutos 1, 3 y 5 de recuperación.
- Se toma una muestra de 20 ml de sangre del lóbulo de la oreja al finalizar los minutos 1, 3 y 5.
- Finalizar la prueba desconectando al deportista del analizador de gases, grabar en el software del equipo y preparar el equipo para una nueva prueba.

## Protocolo en rampa o **DE ESCALONES CORTOS**

**Objetivo:** determinar el umbral ventilatorio y la potencia aeróbica máxima (VO<sub>2</sub> Max).

**Aplicación:** se utiliza para evaluar deportistas de atletismo fondo, medio fondo, conjunto, combate, velocidad y potencia.

## 1. Período de preparación

- Calentamiento y calibración del equipo analizador de gases.
- Examen médico general del deportista.
- Reposo del deportista durante 10 minutos.
- Preparación del deportista y explicación de la prueba que va a realizar.
- Se toman los parámetros ergoespirométricos en reposo, estando el deportista en posición sentado durante 3 minutos.

## 2. Período de calentamiento

- Carga inicial de 3.5 mph durante 3 minutos con una inclinación constante de la banda de 1 %.

## 3. Período de esfuerzo

- Incrementos de carga de 0.5 mph cada minuto hasta el agotamiento (tener en cuenta los parámetros fisiológicos para suspender la prueba, o cuando el deportista indique que no puede continuar).
- Registrar todos los parámetros ergoespirométricos cada minuto o menos si la prueba lo requiere.
- Al terminar cada 2 escalones, el deportista debe señalar en la escala de Borg la percepción subjetiva al esfuerzo que está realizando.

### *Parámetros ergoespirométricos*

- Frecuencia cardíaca
- Frecuencia respiratoria
- Consumo máximo de oxígeno
- Volumen minuto respiratorio
- Equivalente respiratorio (VE)
- Pulso de oxígeno
- Cociente respiratorio



Protocolo en banda para determinar umbral anaeróbico por método metabólico.  
Fuente: Archivo Indeportes Antioquia



Protocolo en cicloergómetro con medición de ácido láctico para determinación del umbral metabólico.  
Fuente: Archivo Indeportes Antioquia



Protocolo en rampa o de escalones cortos.  
Fuente: Archivo Indeportes Antioquia



Protocolo de ergoespirometría indirecta en cicloergómetro.  
Fuente: Archivo Indeportes Antioquia

## 4- Período de recuperación

- En este periodo el deportista continúa caminando con una intensidad y duración similar al calentamiento (3.5 mph) durante 3 minutos.
- Continuar 2 minutos más de recuperación pasiva en posición de pies.
- Registrar los valores a los minutos 1, 3 y 5 de recuperación.
- Finalizar la prueba desconectando al deportista del analizador de gases, grabar en el software del equipo y preparar el equipo para una nueva prueba.

## ERGOMETRÍA

### Esfuerzo

Las pruebas indirectas realizadas en banda rodante deben regirse a los anteriores protocolos. La única diferencia es que no se utiliza el analizador de gases y el VO<sub>2</sub> Max es estimado mediante una fórmula.

### Parámetros

#### ERGOMÉTRICOS

- Frecuencia cardíaca
- Capacidad de trabajo
- Consumo máximo de oxígeno estimado
- Percepción del esfuerzo
- Recuperación

### Fórmulas para estimar

#### EL VO<sub>2</sub> MAX

Las fórmulas utilizadas para determinar el máximo consumo de oxígeno son:

**VO2 Max** =  $(V * 5.78) + 3.75$ ; V = velocidad de la banda en millas.

**VO2 Max** =  $(V * 3.656) - 3.99$ ; V = Velocidad de la banda en km (Pugh).

**VO2 Max** =  $[(V * 5.36) + 3.5] + [(V * 24.14 * \%incl)]$  Componentes horizontal y vertical.

La fórmula utilizada para la determinación del índice de recuperación (IR) es:

$$IR = \frac{FC \text{ max} - FC \text{ n}}{FC \text{ max} - FC \text{ r}} * 100$$

FC máx. = frecuencia cardíaca máxima.

FC n = frecuencia cardíaca del minuto que estamos averiguando.

FC r = frecuencia cardíaca en reposo.

## Protocolos utilizados para la Ergoespirometría EN CICLOERGÓMETRO

Para la realización de esta prueba se utilizan dos protocolos incrementales o progresivos, con aumento gradual del trabajo de forma más o menos brusca, hasta conseguir el agotamiento del deportista.

### Recomendaciones para su realización

- El deportista debe estar en buen estado de salud.
- No debe entrenar a altas intensidades por lo menos veinticuatro horas antes de la prueba.
- No haber ingerido comidas pesadas por lo menos dos horas antes de la prueba.
- Debe tener una ropa adecuada para realizar ejercicio.
- La persona que realice la evaluación debe estar capacitada y debe estar familiarizada con los equipos que va a utilizar.

## Protocolo en bicicleta para determinar umbral **ANAERÓBICO POR EL MÉTODO METABÓLICO**

**Objetivo:** determinar la capacidad aeróbica y el umbral del lactato, y observar el comportamiento de la glicemia y de algunas hormonas que se modifican con el ejercicio.

**Aplicación:** se utiliza para evaluar deportistas de ciclismo ruta, ciclismo pista, ciclomontañismo, bicigrós, natación, patinaje y triatlón.

### 1- Período de preparación

- Calentamiento y calibración del equipo analizador de gases.
- Examen médico general del deportista.
- Reposo del deportista durante 10 minutos.
- Frotar el lóbulo de la oreja del deportista con Finalgón (Hiperhemizante) para facilitar una vasodilatación, asegurándose de esta manera una adecuada toma de muestras durante la prueba.
- Preparación del deportista y explicación de la prueba que va a realizar.
- Se toman los parámetros ergoespirométricos en reposo, estando el deportista en posición sentado durante 3 minutos.
- Se toma una muestra de 20 ml de sangre del lóbulo de la oreja, para determinar el ácido láctico en reposo.
- Se toma una muestra de sangre del pulpejo de uno de los dedos de la mano derecha, para determinar la glicemia en reposo.

### 2- Período de calentamiento

- Carga inicial de 90 watts por minuto durante 4 minutos, con una frecuencia de pedaleo entre 60 y 70 revoluciones por minuto.

### 3- Período de esfuerzo

- Incrementos de carga de 30 watts cada 4 minutos hasta el agotamiento (tener en cuenta los parámetros fisiológicos para suspender la prueba o cuando el deportista indique que no puede continuar).

- Registrar todos los parámetros ergoespirométricos cada 4 minutos o menos, si la prueba lo requiere.
- Al terminar cada escalón, el deportista debe señalar en la escala de Borg la percepción subjetiva al esfuerzo que está realizando.
- Se toma una muestra de 20 ml de sangre del lóbulo de la oreja 15 segundos antes de finalizar cada escalón de 4 minutos.
- A los 300 watts y al finalizar la prueba, se toma una muestra de sangre para determinar la glicemia.

#### 4- Período de recuperación

- En este periodo el deportista continúa pedaleando con una carga y frecuencia de pedaleo inferiores a los del calentamiento.
- Continuar 2 minutos más de recuperación pasiva en posición sentado.
- Registrar los valores a los minutos 1, 3 y 5 de recuperación.
- Se toma una muestra de 20 ml de sangre del lóbulo de la oreja al finalizar los minutos 1, 3 y 5.
- Finalizar la prueba desconectando al deportista del analizador de gases, grabar en el software del equipo y preparar el equipo para una nueva prueba.

### Protocolo en rampa o **DE ESCALONES CORTOS**

**Objetivo:** determinar el umbral ventilatorio y potencia aeróbica máxima (VO<sub>2</sub> Max).

**Aplicación:** se utiliza para evaluar deportistas de natación carreras, natación aletas, polo acuático, patinaje carreras y patinaje artístico, ciclomontañismo, ciclismo pista y bicigrós.

#### 1- Período de preparación

- Calentamiento y calibración del equipo analizador de gases.
- Examen médico general del deportista.

- Reposo del deportista durante 10 minutos.
- Preparación del deportista y explicación de la prueba que va a realizar.
- Se toman los parámetros ergoespirométricos en reposo, estando el deportista en posición sentado durante 3 minutos.

## 2- Período de calentamiento

- Carga inicial de 100 watts por minuto si es hombre y 80 si es mujer, con una frecuencia de pedaleo entre 60 y 70 revoluciones por minuto y una duración de 3 minutos.

## 3- Período de esfuerzo

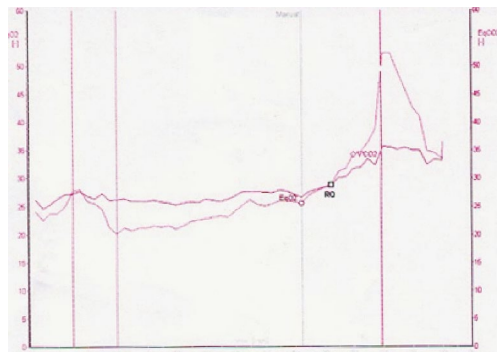
- Incrementos de carga de 10 watts cada 30 segundos hasta el agotamiento (tener en cuenta los parámetros fisiológicos para suspender la prueba o cuando el deportista indique que no puede continuar).
- Registrar todos los parámetros ergoespirométricos cada minuto o menos, si la prueba lo requiere.
- Al terminar cada 2 escalones, el deportista debe señalar en la escala de Borg la percepción subjetiva al esfuerzo que está realizando.

## 4- Período de recuperación

- En este periodo el deportista continúa pedaleando con una intensidad y frecuencia de pedaleo inferiores a los del calentamiento.
- Continuar 2 minutos más de recuperación pasiva en posición sentado.
- Registrar los valores a los minutos 1, 3 y 5 de recuperación.
- Finalizar la prueba desconectando al deportista del analizador de gases, grabar en el software del equipo y preparar el equipo para una nueva prueba.



Protocolo en cicloergómetro en rampa o de escalones cortos.  
Fuente: Archivo Indeportes Antioquia



Determinación del Cociente respiratorio (QR) en una ergoespirometría.  
Fuente: Archivo Indeportes Antioquia

## Ergometría en **BICICLETA**

### Parámetros ergométricos

- Frecuencia cardíaca
- Capacidad de trabajo
- Consumo máximo de oxígeno estimado
- Percepción del esfuerzo
- Recuperación

Las pruebas indirectas realizadas en la bicicleta ergométrica deben regirse a los anteriores protocolos. La única diferencia es que no se utilizará el analizador de gases y el consumo de oxígeno se hallará mediante fórmulas.

### Fórmulas para estimar **EL VO2 MAX**

Las fórmulas utilizadas para determinar el máximo consumo de oxígeno son:

#### En rampa

$$\text{VO2 Max (l/min)} = 0.412 + 0.011 * \text{carga en watts}$$

$$\text{VO2 Max (ml/kg/min)} = 6,986 + 0.157 * \text{carga en watts}$$

#### En escalera

$$\text{VO2 Max (l/min)} = 0.209 + 0.013 * \text{carga en watts}$$

$$\text{VO2 Max (ml/kg/min)} = 4.685 + 0.207 * \text{carga en watts}$$

La fórmula utilizada para la determinación del índice de recuperación (IR) es:

$$IR = \frac{FC \text{ max} - FC \text{ n}}{FC \text{ máx.} - FC \text{ r}} * 100$$

FC máx. = frecuencia cardíaca máxima.

FC n = frecuencia cardíaca del minuto que estamos averiguando.

FC r = frecuencia cardíaca en reposo.

## REFERENCIAS

- Astrand, P., Rodalh, K.** (1992). *Fisiología del trabajo físico, Bases fisiológicas del ejercicio*. Buenos Aires: Editorial médica Panamericana.
- Caldas, R., Valbuena, L., Jaramillo, H.** (1998). Perfil funcional de mujeres deportistas de alto rendimiento. *Acta Médica Colombiana*, 23, pp. 151-155.
- Caldas, R., Valbuena, L. y Jaramillo, H.** (1996). Características funcionales de deportistas antioqueños de alto rendimiento. *Acta Médica Colombiana*, 21, pp.162-167.
- González J.** (1992). *Fisiología de la actividad física y el deporte*. Madrid: Editorial Interamericana Mc Graw – Hill.
- Jiménez, J. y Valbuena, L.** (2009). Relación entre el umbral anaeróbico y la escala de percepción subjetiva del esfuerzo en deportistas de rendimiento del departamento de Antioquia. *Revista Antioqueña de Medicina Deportiva*, 8(1).
- Lindner, W.** (1995). *Ciclismo en ruta*. Madrid: Ediciones Martínez Roca.
- López-Chicharro, L.** (2006). *Fisiología del ejercicio*. Panamericana.
- Marino, F., Contreras, L. y Valbuena, L.** (2001). *Revista Antioqueña de Medicina Deportiva y Ciencias Aplicadas al Deporte*, 4: 29 - 36
- McDougall, J., Wenger, H. y Green, A.** (1991). *Physiological testing of the high-performance athlete*. Champaign: Human Kinetics.
- Mellerowics, J.** (1984). *Ergometría*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.
- Robert W. Pettitt, 1 Ida E. Clark, 1 Stacy m. Ebner, 1 Daniel T. Sedgeman, 1 and Steven R. Murray2; 1 Viola Holbrook Human Performance Laboratory, Minnesota State University, Mankato, Mankato; and 2 Department of Kinesiology, Colorado Mesa University, Grand Junction, Colorado** *Journal of Strength and Conditioning Research*, GAS EXCHANGE THRESHOLD AND VO2MAX TESTING FOR ATHLETES: AN UPDATE, *Journal of Strength and Conditioning Research*, volume 27, number 2, February 2013.
- Shepard, R. J.** (1996). Consumo de oxígeno. En Shepard, R. J. y Astrand P. O. *La resistencia en el deporte* (pp.204-213). Barcelona: Paidotribo.
- Valbuena, L.** (2006). Ergoespirometría, y sistema muscular y ejercicio. En *Medicina del deporte*. Medellín: Ed CIB.
- Wasserman, K.** (1994). *Principles of exercise testing and interpretation*. Philadelphia: Lea and Febigger.
- Wilmore, J. y Costill, D.** *Physiology of Sport an Exercise*. Champaign: Human. Kinetics, 1994.

