



Pallarés, JG; Morán-Navarro, R. (2012). Propuesta metodológica para el entrenamiento de la resistencia cardiorrespiratoria. *Journal of Sport and Health Research*. 4(2):119-136.

Review

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL ENTRENAMIENTO DE LA RESISTENCIA CARDIORRESPIRATORIA

METHODOLOGICAL APPROACH TO THE CARDIORESPIRATORY ENDURANCE TRAINING

Pallarés, J.G.¹; Morán-Navarro, R.²

¹Laboratorio de Fisiología del Ejercicio. Universidad de Castilla la Mancha

²Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Murcia

Correspondence to:
Jesús García Pallarés
Exercise Physiology Laboratory at Toledo
University of Castilla la Mancha
Av/ Carlos III, s/n Toledo 45071
Email: jesus.garcia.pallares@gmail.com

*Edited by: D.A.A. Scientific Section
Martos (Spain)*



Received: 15-01-2012
Accepted: 29-03-2012



RESUMEN

Orientar y maximizar las adaptaciones que propicia el entrenamiento de la resistencia cardiorrespiratoria requiere de un adecuado manejo de las variables que definen la carga de entrenamiento; principalmente Volumen, Intensidad y Densidad. Tras una completa revisión y clarificación terminológica sobre las fuentes o rutas metabólicas de obtención de energía, así como una breve descripción de las valoraciones o test más aceptados para evaluar el rendimiento de cada una de ellas, se lleva a cabo una detallada propuesta metodológica para el desarrollo de las diferentes capacidades funcionales que engloban la resistencia cardiorrespiratoria. En relación a la prescripción de la Intensidad del esfuerzo, quizás el componente de la carga que en mayor medida va a orientar y condicionar las adaptaciones cardiorrespiratorias en uno u otro sentido, esta propuesta metodológica toma como referencia las principales variables que se emplean comúnmente para la valoración del rendimiento y la prescripción del entrenamiento de resistencia: Consumo Máximo de Oxígeno (%VO_{2max}), Frecuencia Cardíaca Máxima (FC_{max}), Frecuencia Cardíaca de Reserva (FC_{reserva}), Velocidad Aeróbica Máxima (%VAM) y Concentración de Ácido Láctico en sangre capilar ([lact]).

Palabras clave: Volumen, intensidad, densidad, umbral anaeróbico, potencia aeróbica, métodos de entrenamiento.

ABSTRACT

Guiding and maximizing the cardiorespiratory endurance training adaptations requires a proper management of the variables that define the training load; mainly volume, intensity and density. Following a thorough review and clarification of terminology about the sources or pathways of energy production, as well as a brief description of the most accepted assessments or tests used to detect the performance of each one, the authors carried out a detailed methodological approach of the development of different functional capabilities, which encompass cardiorespiratory endurance. In relation to the intensity of effort, generally acknowledged as the most important variable which will further guide the cardiorespiratory adaptations, this methodological approach draws on the main variables that are commonly used in sport performance assessments and endurance training prescription: Maximum Oxygen Uptake (% VO_{2max}), Maximum Heart Rate (HR_{max}), Heart Rate Reserve (HR_{reserve}), Maximal Aerobic Velocity (%MAV) and capillary Blood Lactate Concentration ([lact]).

Keywords: Volume, intensity, density, anaerobic threshold, aerobic power, training methods.



INTRODUCCIÓN

La Carga de entrenamiento está considerada como el conjunto de exigencias mecánicas, biológicas y psicológicas, inducidas por las actividades de entrenamiento y competición, que provocan un estado de desequilibrio en el organismo del atleta (González-Badillo & Ribas Serna, 2002). Los tres principales componentes que definen y condicionan esta Carga de entrenamiento son el Volumen, la Intensidad y la Densidad. La manipulación de cualquiera de estas variables, incluso manteniendo estables las demás, puede producir unos efectos y adaptaciones muy diferentes sobre el desarrollo de las distintas capacidades físicas condicionales del atleta.

Por su parte, el Volumen es la medida cuantitativa de la Carga, y aunque puede expresarse de multitud de formas diferentes, para el entrenamiento de la resistencia cardiorrespiratoria se suele utilizar el tiempo empleado (horas o minutos), el espacio recorrido (metros o kilómetros) o incluso el número de estímulos o repeticiones de esfuerzo realizadas. La Intensidad se entiende sin embargo como el aspecto cualitativo de la carga, es decir, el rendimiento requerido respecto a una capacidad máxima conocida o estimada (p.e., %FCmax, %VO_{2max}, %FCreserva o %VAM), y está considerada por un gran número de autores como la principal variable que orienta y condiciona las adaptaciones al entrenamiento (Kraemer, Fleck & Deschenes, 1988; Gibala et al., 2006; Helgerud, et al., 2007). Finalmente, la Densidad representa la relación entre el tiempo de trabajo y el de recuperación (Densidad = Trabajo / Descanso), ya sea entre repeticiones, series, sesiones o unidades más amplias de entrenamiento. A mayor densidad, mayor carga/exigencia del estímulo propuesto y viceversa.

Conocedores de la importancia que tiene el adecuado manejo y la prescripción de la intensidad del esfuerzo en cualquier tipo de actividad cardiorrespiratoria, bien sea desde el punto de vista del ejercicio físico saludable o del rendimiento deportivo, esta variable ha recibido una especial atención en la literatura científico-divulgativa relacionada con la preparación física desde los años 50 (Matveiev, 1970). Como precedente al criterio biológico para el control de la intensidad de entrenamiento, diversos autores han propuesto innumerables clasificaciones y

terminologías dispares para estructurar este aspecto cualitativo de la carga de entrenamiento. La mayoría de estas propuestas han estado fundamentadas únicamente en tiempos de paso relativos a una velocidad de desplazamiento máxima, en base a frecuencias cardíacas en valor absoluto no individualizadas, o incluso como porcentajes de tiempo respecto a una marca deportiva conseguida por el atleta. Estas clasificaciones y terminologías ambiguas no generan sino confusión, alejando a los técnicos deportivos de comprender, y por lo tanto orientar, las adaptaciones fisiológicas que están consiguiendo con sus programas de entrenamiento. Resulta fundamental por lo tanto relacionar la intensidad del esfuerzo con la cantidad de energía producida en unidad de tiempo, e inevitablemente relacionar ésta con los procesos o rutas metabólicas de obtención del ATP (Navarro & García-Verdugo, 2007).

CLARIFICACIÓN TERMINOLÓGICA SOBRE LAS RUTAS METABÓLICAS DE ENTRENAMIENTO DE LA RESISTENCIA CARDIORRESPIRATORIA

Como paso previo a la exposición detallada de los métodos de entrenamiento que van a favorecer el desarrollo de la resistencia cardiorrespiratoria en todo su abanico de intensidades, parece aconsejable realizar una clarificación terminológica que permita definir convenientemente las diferentes rutas metabólicas de obtención de energía, identificar las principales adaptaciones fisiológicas que van a producir a medio-largo plazo, así como una breve exposición de los test y valoraciones más aceptados para detectar y establecer el rendimiento de cada una de ellas.

Umbral Aeróbico (R1)

El Umbral Aeróbico se puede definir como aquella intensidad de esfuerzo en la que el metabolismo aeróbico se hace insuficiente por sí sólo para satisfacer las demandas energéticas del tejido muscular activo y, en consecuencia, es necesario recurrir a las fuentes anaeróbicas adicionales de suministro energético (Holloszy & Coyle, 1984). Esta producción de energía por metabolismo anaeróbico es muy reducida, por lo que la escasa acidez (H⁺) que genera es inmediatamente tamponada o bloqueada en el propio músculo (*buffered*) y por



tanto ésta se mantiene en una línea estable o también llamada “línea basal” (Naimark, Wasserman, McIlroy, 1964) (Figura 1A).

En esta ruta metabólica existe un consumo mixto de grasas e hidratos de carbono (HHCC) (20-40% ácidos grasos vs. 60-80% HHCC), y la participación aeróbica-anaeróbica se encuentra en torno al 99% aeróbico vs. 1% anaeróbico. La intensidad del Umbral Aeróbico (R1) se localiza en la mayor parte de los sujetos entrenados entre el 65-75% del VO_{2max} y entre el 75-85% de su Umbral Anaeróbico. El entrenamiento continuado sobre esta intensidad (R1) produce prioritariamente mejoras en la eficiencia aeróbica así como una optimización de la oxidación de grasas y un aumento de sus depósitos en el interior de la fibra muscular en forma de triglicéridos intramusculares (IMTG).

Para deportistas de medio-alto nivel, el entrenamiento cardiorrespiratorio a una intensidad inferior a este Umbral Aeróbico no va a producir beneficios en su condición física ya que, por debajo de esta intensidad, todas las estructuras del atleta se encuentran perfectamente adaptadas para aportar de forma eficiente la energía necesaria y cumplir con la exigencia mecánica (tejidos conectivos, musculoesquelético, vascular, etc.), por lo que no experimentará adaptaciones positivas al esfuerzo realizado. No obstante, estas intensidades inferiores al Umbral Aeróbico (<65% VO_{2max}) pueden ser beneficiosas y por lo tanto prescribirse para llevar a cabo las recuperaciones activas de estímulos más intensos o incluso sesiones de recuperación completas (R0).

Metodologías para la Valoración del Umbral Aeróbico:

Las metodologías más validadas que existen en la actualidad para detectar el Umbral Aeróbico son:

- *Umbral Láctico (LT)*: Intensidad que precede a un incremento inicial y continuado del ácido láctico sanguíneo en un test incremental escalonado. Se define como la carga previa a la intensidad que produce un incremento de $1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ respecto a la línea basal (Hagberg & Coyle, 1983) (Figura 1A).

- *Umbral Ventilatorio 1 (VT1)*: Intensidad en la que se produce un incremento en la ventilación minuto como producto de la necesidad ventilatoria de eliminar el exceso de dióxido de carbono (VCO_2) derivado del tamponamiento de la acidosis por el bicarbonato. Como consecuencia de lo anterior se produce un incremento repentino del Equivalente Ventilatorio del O_2 (VE/VO_2) sin un incremento asociado del Equivalente del CO_2 (VE/VCO_2) en un test incremental en rampa con registros de espirometría (Chicharro & Lucia 2008) (Figura 1B).
- *V-Slope*: Basándose en el mismo hito fisiológico que identifica el VT1, al representar gráficamente el incremento de la producción de dióxido de carbono (VCO_2) en función del consumo de oxígeno (VO_2), es posible identificar el punto en que la pendiente cambia, es decir, que la ventilación aumenta en función, no de la necesidad de consumir más oxígeno, sino de eliminar el exceso de CO_2 (Beaver et al., 1986).

Umbral Anaeróbico (R2)

El Umbral Anaeróbico está considerado como la zona o intensidad de transición aeróbica-anaeróbica en la que el oxígeno suministrado a los músculos que se ejercitan no resulta suficiente para cubrir las necesidades de energía, por lo que la glucólisis anaeróbica comienza a intervenir de manera *relevante* como proveedora de ATP (~5-7% del total de la energía) (Mora-Rodríguez, 2009). A partir de este Umbral Anaeróbico, si la intensidad continúa incrementándose, la acidosis metabólica del atleta comienza a elevarse exponencialmente debido a que el músculo no es capaz de resintetizarlo (*tamponarlo - Sistema Buffer*) a la misma velocidad que se genera, y esto produce a su vez que la ventilación se intensifique de manera desproporcionada con respecto al oxígeno consumido (Wasserman & McIlroy, 1964).

Esta ruta metabólica, situada en un cociente respiratorio (VCO_2/VO_2) muy próximo a 1, requiere de un consumo energético prácticamente exclusivo de HHCC, donde la participación aeróbica-anaeróbica se encuentra en torno al 95% aeróbico vs. 5% anaeróbico (Wasserman, Hansen, Sue, Stringer



& Whipp, 2005). La intensidad de este Umbral Anaeróbico (R2) se localiza en la mayor parte de los sujetos entrenados entre el 75-85% de su VO_{2max} .

El entrenamiento continuado sobre esta intensidad (R2) produce prioritariamente mejoras en la oxidación del glucógeno y un aumento de sus depósitos, así como diferentes adaptaciones de tipo central como un aumento de la difusión pulmonar y de la afinidad por la hemoglobina, y una mejora de la volemia, del volumen sistólico y por ende del gasto cardíaco máximo (García-Pallarés & Izquierdo, 2011).

Metodologías para la Valoración del Umbral Anaeróbico:

Aunque en la literatura internacional se han descrito multitud de metodologías diferentes (invasivas y no invasivas, directas e indirectas) para la determinación de esta transición aeróbica-anaeróbica, algunas de las más aceptadas por sus niveles de validez y reproducibilidad son:

- **Máximo Estado Estable de Lactato (MLSS):** Intensidad máxima de ejercicio que puede mantenerse durante un tiempo prolongado (>25 min) sin un incremento continuado (<1 $mmol^{-1}$) de la concentración de ácido láctico (Beneke, 2003). Está considerado como el método "Gold Standard" o de referencia por sus elevados índices de reproducibilidad, así como por su relación directa con la definición del propio Umbral Anaeróbico.
- **Umbral 1 $mmol \cdot L^{-1}$ por encima de la línea basal (LT+1):** Determina el Umbral Anaeróbico en aquella intensidad de esfuerzo que, durante un test incremental escalonado, produce un aumento de la concentración de ácido láctico de 1 $mmol \cdot L^{-1}$ por encima de la línea basal definida con 3-4 cargas submáximas precedentes (Coyle et al., 1983) (Figura 1A).
- **Umbral Ventilatorio 2 (VT2):** Durante un test incremental en rampa con análisis de gases, el umbral anaeróbico se establece en aquella intensidad de ejercicio en la que, como consecuencia de la acidosis láctica, se produce una activación de los quimiorreceptores que

estimulan el centro respiratorio, provocando a su vez una hiperventilación que trata de compensar esta acidosis metabólica. Como resultado, la ventilación minuto se incrementa en relación a la producción de dióxido de carbono, por lo que se produce un incremento de la relación VE/VCO_2 y una consecuente disminución en la presión parcial del CO_2 al final de la ventilación ($PetCO_2$) (Chicharro & Lucia 2008) (Figura 1B).

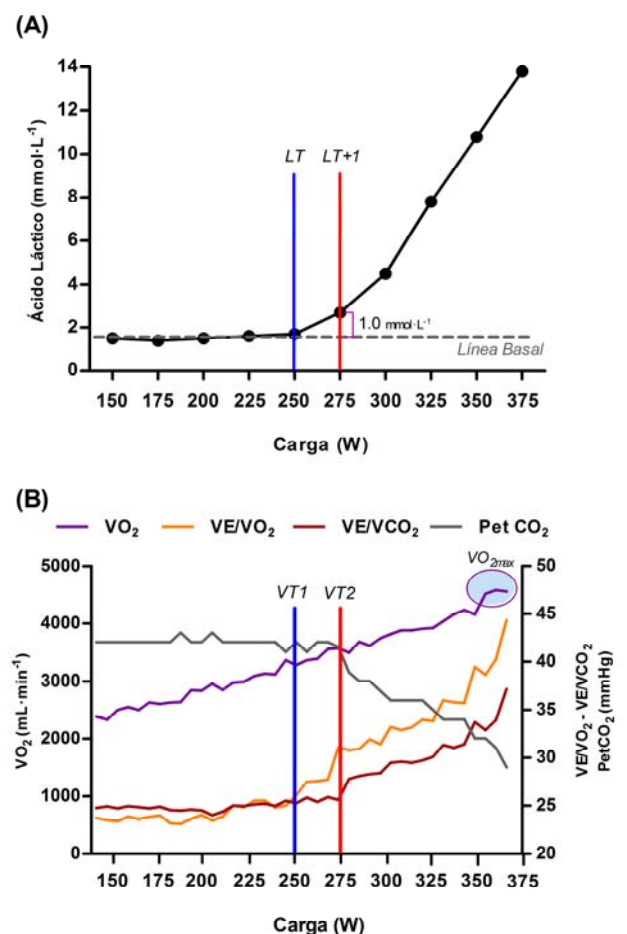


Figura 1. Ejemplo de las determinaciones para un mismo sujeto del LT y LT+1 en un test máximo escalonado (A), así como del VT1, VT2 y VO_{2max} en un test máximo en rampa (B).

Consumo Máximo de Oxígeno o VO_{2max} (R3 y R3+)

El VO_{2max} se define como la cantidad más elevada de oxígeno que el organismo es capaz de absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo (Fernández-Vaquero, 2008). Esta intensidad coincide con la carga o potencia de ejercicio (i.e., Potencia Aeróbica Máxima) en la que los mecanismos



aeróbicos de producción de energía llegan a saturarse, de modo que si la carga continúa incrementándose deberá ser a costa de una mayor participación del metabolismo anaeróbico. Está considerada como la variable con mejores índices de predicción del rendimiento aeróbico del atleta y uno de los principales indicadores de salud cardiorrespiratoria. El VO_{2max} suele expresarse en valor absoluto ($L \cdot min^{-1}$), relativo a la masa corporal ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) o incluso relativo a la masa libre de grasa o masa muscular del sujeto.

Durante un esfuerzo cercano al VO_{2max} el glucógeno es la principal fuente de suministro energético y la participación aeróbica-anaeróbica se encuentra en torno al 65% aeróbico vs. 35% anaeróbico. El entrenamiento sobre esta zona de potencia aeróbica requiere que el deportista realice cargas de trabajo a una intensidad ligeramente inferior (90-95% VO_{2max} - R3) o sobre el propio VO_{2max} (95-100% VO_{2max} - R3+) (García-Pallarés, Sánchez-Medina, Carrasco, Díaz & Izquierdo, 2009; García-Pallarés, García-Fernández, Sánchez-Medina, Izquierdo & 2010). El entrenamiento periodizado sobre esta zona (R3 y R3+) produce prioritariamente mejoras en la capacidad de soportar esfuerzos en condiciones próximas o iguales al VO_{2max} mediante diferentes adaptaciones periféricas como un aumento de la densidad capilar, densidad mitocondrial y un incremento de las enzimas oxidativas y de las reservas de glucógeno muscular (García-Pallarés & Izquierdo, 2011).

Metodologías para la Valoración de la Potencia Aeróbica:

Aunque existen multitud de pruebas diseñadas y validadas para la determinación de la Potencia Aeróbica o VO_{2max} , existen dos metodologías claramente diferenciadas:

Medición directa con Espirometría - Test incremental en rampa hasta el agotamiento:

Tras un test con incrementos constantes de la intensidad y sin recuperaciones, el VO_{2max} se define como la media de los dos mayores valores de 15 s de VO_2 consecutivos alcanzados hacia el final de la prueba, siempre y cuando la prueba cumpla al menos 3 de los 4 criterios de maximalidad: 1º aparición de una meseta en el comportamiento lineal del VO_2 a

pesar del aumento de la intensidad del esfuerzo, o en su defecto, confirmar que el aumento del VO_2 sea inferior a $150 ml \cdot min^{-1}$ en dos estadíos sucesivos del test; 2º Concentraciones de ácido láctico capilar superiores a $8 mmol \cdot L^{-1}$; 3º Alcanzar un Cociente Respiratorio (VCO_2/VO_2) igual o superior a 1.15; 4º Registrar la frecuencia cardiaca máxima teórica del sujeto (Pérez, 2008). En caso de no cumplirse estos criterios de maximalidad, el mayor valor de VO_2 registrado en la prueba no podrá considerarse VO_{2max} y se denomina VO_{2pico} (Figura 1B). Este método está considerado como el método “*Gold Standard*” o de referencia por sus elevados índices de reproducibilidad, así como por su relación directa con la definición de la propia Potencia Aeróbica y del VO_{2max} .

Test de estimación:

Conocedores de las grandes aplicaciones prácticas que la determinación del VO_{2max} puede tener para la prescripción y la valoración del ejercicio en el campo de la salud y el rendimiento deportivo, y debido a los costosos recursos materiales y humanos que son necesarios para realizar las determinaciones del VO_{2max} con espirometría, numerosos autores han desarrollado múltiples test máximos y submáximos para estimar la potencia aeróbica de los atletas atendiendo a la evolución de diferentes variables cuyo registro es notablemente más sencillo y menos costoso. Algunos de los más utilizados actualmente por sus niveles aceptables de validez y reproducibilidad son:

Test de estimación submáximos:

- *Test de estimación de VO_{2max} de Astrand y Ryhming:* Este test predice el VO_{2max} a partir de la medición de la frecuencia cardiaca durante un único esfuerzo submáximo y el empleo de un normograma (Astrand & Ryhming, 1954).
- *Test de extrapolación:* Test basado en la relación lineal que existe entre la intensidad del ejercicio, la frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno. Registrando la frecuencia cardiaca del sujeto en dos o tres intensidades submáximas, la potencia aeróbica (VO_{2max}) puede estimarse extrapolando hasta su frecuencia cardiaca máxima teórica (Grant, Corbett, Amjad, Wilson & Aitchison, 1995).



Test de estimación máximos:

Existen multitud de pruebas de campo para la estimación del VO_{2max} en los que apenas son necesarios recursos materiales y humanos. Dependiendo de la especialidad de los deportistas y de su nivel de rendimiento, actualmente destacan dos test por sus niveles razonables de validez y reproducibilidad reportados en la literatura internacional: *Test Yo-Yo de recuperación intermitente*, adecuado para jugadores de deportes colectivos (Krustrup et al., 2003) y el *Test de Léger-Boucher*, o también conocido como el *Test de la Universidad de Montreal*, que permite estimar tanto el VO_{2max} como la Velocidad Aeróbica Máxima (VAM), por lo que resulta especialmente interesante para deportes cíclicos (Léger & Boucher, 1980).

Capacidad Anaeróbica Láctica (R4)

Desde la perspectiva de la Fisiología del Ejercicio, la Capacidad Anaeróbica Láctica se define como la cantidad total de ATP que puede resintetizar la vía glucolítica en un esfuerzo de máxima intensidad hasta el agotamiento (Calbet, 2008). Debido a las grandes dificultades logísticas que existen para poder evaluar y prescribir esta zona de entrenamiento tomando como base esta definición, existe igualmente cierto consenso internacional en definir la Capacidad Anaeróbica Láctica como al gasto energético total requerido por un esfuerzo máximo, sin ningún tipo de distribución de la fatiga (*All Out*), durante un tiempo de 30 s – 1 min. Con motivo de la dificultad anteriormente mencionada para poder medir directamente la Capacidad Anaeróbica Láctica desde una perspectiva fisiológica, el concepto y la definición de esta ruta metabólica (R4) se ha venido relacionado únicamente, e incluso se llega a confundir de forma habitual en la literatura, con la metodología del test más empleado en el mundo para estimar el rendimiento de esta capacidad – *Test Wingate*.

El esfuerzo a una intensidad de Capacidad Anaeróbica (R4) requiere de un consumo energético prácticamente exclusivo del glucógeno muscular por la vía de la glucólisis anaeróbica, además de una depleción casi completa de las reservas de fosfocreatina y una disminución significativa de las reservas de ATP que se encuentran las fibras musculares activas (Gorostiaga & Calbet, 2010).

Durante este tipo de esfuerzos existe una participación aeróbica–anaeróbica en torno al 35% aeróbico vs. 65% anaeróbico, aunque es muy variable en función de las características del deportista (i.e., composición de fibras musculares, orientación de su entrenamiento previo, etc.). El entrenamiento sobre esta zona (R4) requiere que el sujeto realice cargas de trabajo a una intensidad considerablemente superior al VO_{2max} (105-120% VO_{2max}), generando a largo plazo mejoras en la tolerancia a la acidosis metabólica elevada, aumentos de la capacidad glucolítica, así como incrementos en las reservas energéticas de ATP, CP y glucógeno muscular.

Metodologías para la Valoración de la Capacidad Anaeróbica:

Tal y como se ha descrito, la metodología más utilizada para la valoración del rendimiento de esta ruta metabólica es el *Test Wingate* (Bar-Or, Dotan & Inbar, 1977). Este test consiste en realizar un esfuerzo cíclico (generalmente pedaleo) durante 30 segundos sin ningún tipo de distribución de la fatiga, donde la capacidad anaeróbica se define como la potencia media (W) desarrollada durante el test. La resistencia a vencer, la configuración de las dimensiones del ergómetro, así como la posición de arrancada (i.e., salida parada o lanzada) continúan generando controversia 35 años después. No obstante, el protocolo más extendido del test Wingate establece la resistencia a vencer en el 7.5% de la masa corporal del participante (0.75 kp) para el pedaleo en cicloergómetro y del 5% (0.5 kp) para el ergómetro de brazos o Crank-arm. Además, la arrancada desde la posición de parado, así como una individualización de las dimensiones del ergómetro a las medidas antropométricas del sujeto, parecen maximizar los índices de reproducibilidad del test (MacIntosh, Rishaug & Svedahl, 2003; Neville, Pain, Kantor & Folland, 2010).

Potencia Anaeróbica Láctica (R5)

La Potencia Anaeróbica Láctica se define como la cantidad máxima de ATP resintetizada en la glucólisis anaeróbica por unidad de tiempo (Calbet, 2008). Al igual que con la Capacidad Anaeróbica (R4), medir y por tanto evaluar la Potencia Anaeróbica Láctica en base a esta definición requiere una cantidad ingente de recursos que imposibilitan a la medicina del deporte y al entrenamiento deportivo



poder utilizar en la práctica real estos conceptos. Por ello, de nuevo esta ruta metabólica se ha venido definiendo como la potencia máxima (W) alcanzada en los primeros segundos (2-5 s) de un test cíclico máximo.

Estímulos de entrenamiento o competición que se realizan a esta intensidad (R5) requieren depleciones casi completas de los depósitos de fosfocreatina (80%), así como descensos significativos de las reservas de ATP (30-40%) y glucógeno muscular (30-40%) (Gorostiaga & Calbet, 2010). Diferentes estudios han reportado una participación aeróbica-anaeróbica en este tipo de esfuerzos en torno al 15% aeróbico vs. 85% anaeróbico, aunque de nuevo es muy variable en función de las características individuales del sujeto. El entrenamiento sobre esta zona (R5) requiere que el deportista realice cargas de trabajo a una intensidad aproximada del 120-140% del VO_{2max} , generando como principales adaptaciones a medio-largo plazo una optimización de la actividad de las enzimas glucógeno fosforilasa y fosfofructoquinasa (PFK), retraso en la caída del pH intramuscular (capacidad tampón o *Buffer*), un incremento importante de las reservas de fosfágenos de alta energía (ATP y CP), y por lo tanto una mejora en la tasa de producción de energía por la vía glucolítica (Calbet, 2008).

Metodologías para la Valoración de la Potencia Anaeróbica:

Además del ya mencionado Test de Wingate, dónde la potencia Anaeróbica (R5) se asocia a la potencia máxima (W) desarrollada durante el test (generalmente durante los primeros 2-5 segundos de la prueba), otras valoraciones como el test de Carga Inercial (Mora-Rodríguez, 2009) permiten estimar el rendimiento de esta ruta metabólica con mayor sensibilidad, así como con mejores índices de reproducibilidad e incluso de validez que el propio Test Wingate.

Potencia Anaeróbica Aláctica (R6)

A un nivel estrictamente teórico, esta ruta metabólica se puede definir como la máxima cantidad de ATP resintetizado por unidad de tiempo, vía metabolismo energético anaeróbico, pero sin producción de lactato (Calbet, 2008). Aunque teóricamente esta definición es correcta y se ha mantenido válida durante muchas

décadas, surge en los últimos tiempos una gran controversia sobre la posibilidad real de que esta capacidad se manifieste de forma aislada durante esfuerzos de corta o muy corta duración. Estudios recientes han descrito aumentos significativos de la concentración de ácido láctico tras esfuerzos cíclicos de menos de 6 segundos (Gaitanos, Williams, Boobis & Brooks, 1993), e incluso tras un único salto con contramovimiento (Chamari et al., 2001). Estos datos dejan patente la participación relevante del metabolismo anaeróbico glucolítico en este tipo de esfuerzos de tan corta duración, y por lo tanto hacen que incluso el propio término que define esta ruta metabólica deje de ser el apropiado.

En este sentido, tal y como han aconsejado diferentes fisiólogos del ejercicio en los últimos años (Greenhaff, 2003; Calbet, 2008), parece aconsejable abandonar definitivamente el uso de esta terminología, dejando claro que cualquier esfuerzo de tipo *All Out* tiene una participación mixta de las diferentes rutas anaeróbicas (lácticas y alácticas) desde la primera contracción muscular del esfuerzo. Este error terminológico no implica sin embargo que en la práctica real se deba prescindir de este tipo de estímulos, generalmente asociados únicamente a la preparación para determinadas especialidades de muy corta duración, ya que las adaptaciones fisiológicas y neuromusculares que proporcionan al atleta continúan siendo igual de necesarias. Dentro de estas adaptaciones destacan una mejora en la tasa de producción de energía anaeróbica glucolítica y aláctica, aumento de los depósitos de fosfágenos de alta energía, así como diferentes adaptaciones neuromusculares relacionadas con varias manifestaciones de la fuerza y la velocidad gestual.

Algunos de los test comúnmente empleados para estimar el rendimiento de esta capacidad, íntimamente relacionada con el componente neuromuscular del individuo, son:

- *Test de Salto Vertical*: estimación de la potencia (W) a partir de la altura de salto o medida directamente la fuerza aplicada a través de una plataforma de fuerzas: Squat Jump (SJ), Salto con Contramovimiento (CMJ), Drop Jump (DJ), Abalakov.



- *Curvas Fuerza-Velocidad:* en ejercicios isoinerciales como el Press Banca o la Sentadilla, conociendo la resistencia (kg) y la velocidad a la que se desplaza mediante un transductor lineal de velocidad o de posición, se puede estimar la potencia mecánica máxima que es capaz de generar el atleta (Sánchez-Medina, Pérez & González-Badillo, 2009).

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA CARDIORRESPIRATORIA

Una vez establecida esta clarificación terminológica y en base a los datos científicos anteriormente detallados para cada una de las rutas metabólicas, así como en la propia experiencia profesional de los autores, las Tablas 1 y 2 recogen la propuesta metodológica para el entrenamiento de las diferentes zonas de la resistencia cardiorrespiratoria.

La **Tabla 1** muestra un resumen de las principales adaptaciones fisiológicas que se relacionan con el entrenamiento continuado de las 7 zonas o rutas metabólicas descritas, así como los porcentajes (%) de intensidad asociados a las principales variables que se emplean para el control y la prescripción del entrenamiento de resistencia (Pallarés, Morán-Navarro, Pérez, 2011): Consumo Máximo de Oxígeno (% VO_{2max}), Frecuencia Cardíaca Máxima (% FC_{max}), Frecuencia Cardíaca de Reserva (% $FC_{reserva}$), Velocidad Aeróbica Máxima (%VAM) y concentración de ácido láctico en sangre capilar ([lact]).

En la **Tabla 2** se muestran los métodos de entrenamiento, empleando una terminología modificada de Navarro (1998), y detallando los rangos idóneos de manipulación de los diferentes componentes de la carga (i.e., Volumen, Intensidad y Densidad) que optimizan el desarrollo de cada una de las rutas metabólicas. Esta propuesta diferencia principalmente tres grupos de métodos de entrenamiento de la resistencia cardiorrespiratoria: Métodos Continuos, Métodos Fraccionados y Métodos de Puesta a Punto.

Los **Métodos Continuos** son estímulos de trabajo sin intervalos de descanso, bien sea con intensidad constante (*Continuos Uniformes*) o con cambios

leves de intensidad (*Continuos Variables*) diseñados para trabajar dos rutas metabólicas aeróbicas.

Por otro lado, los **Métodos Fraccionados** son aquellos en los que se incorporan fases de pausa entre los diferentes estímulos propuestos. Estas pausas pueden ser incompletas (*Métodos Interválicos*) donde el tiempo de recuperación no permite al atleta recuperar por completo su estado inicial de rendimiento, o pausas completas o casi completas (*Métodos de Repeticiones*) en los que el tiempo de recuperación es más amplio y permite una restauración casi completa del rendimiento del atleta entre las diferentes repeticiones del esfuerzo programado.

Finalmente, los métodos específicos de **Control y Puesta a Punto** están diseñados para facilitar al deportista la mejora de la resistencia específica de la propia distancia de competición, permitiéndole integrar y optimizar las mejoras obtenidas en las diferentes capacidades funcionales que ha desarrollado durante el ciclo. Dentro de estos métodos destacan las *Series Rotas* (la distancia de competición dividida en tramos de igual volumen con una breve pausa entre ellas), las *Series Simuladoras* (la distancia de competición dividida en tramos que simulan la distribución del esfuerzo que va a llevar a cabo el deportista en la competición con una breve pausa entre ellas) y las pruebas de *Competición y Control*, que tratan de simular en el entrenamiento todas las condiciones reales que el deportista se va a encontrar en competición (distancia, rivales, materiales, pausas, etc.).

Las **Figuras 2, 3, 4, 5 y 6** incluyen representaciones gráficas con ejemplos de los perfiles Intensidad - Tiempo para cada uno de los métodos de entrenamientos descritos en la Tabla 2. (RA: *Recuperación Activa*; RP: *Recuperación Pasiva*).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Åstrand, P.O., Rhyning, I. (1954). A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *Journal of Applied Physiology*, (7), 218-221.



2. Bar-Or, O., Dotan, R. & Inbar, O. (1977). A 30 s all out ergometry test: its reliability and validity for anaerobic capacity. *Israel Journal of Medicine Sciences in Sports & Exercise*, 13, 326-327.
3. Beneke, R. (2003). Maximal lactate steady state concentration (MLSS): experimental and modelling approaches. *European Journal of Applied Physiology*, 88(4-5), 361-9.
4. Calbet, J.A.L. (2008). Potencia y capacidad anaeróbicas. En Chicharro, J.L. y Fernández-Vaquero A. (Eds.) *Fisiología del Ejercicio* (3ª ed. P. 487) Madrid: Editorial Médica Panamericana.
5. Chamari, K., Ahmaidi, S., Blum, J.Y., Hue, O., Temfemo, A., Hertogh, C., Mercier B., Préfaut, C., Mercier, J. (2001). Venous blood lactate increase after vertical jumping in volleyball athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 85(1-2), 191-4.
6. Chicharro J.L., Lucía, A. (2008). Transición aeróbica-anaeróbica: concepto, bases fisiológicas y aplicaciones. En Chicharro, J.L. y Fernández-Vaquero A. (Eds.) *Fisiología del Ejercicio* (3ª ed. P. 416) Madrid: Editorial Médica Panamericana.
7. Coyle, E.F., Martin, W.H., Ehsani, A.A., Hagberg, J.M., Bloomfield, S.A., Sinacore, D.R., Holloszy, J.O. (1983). Blood lactate threshold in some well trained ischemic heart disease patients. *Journal of Applied Physiology*, 54, 18-23.
8. Del Coso, J., Hamouti, N., Aguado-Jimenez, R., Mora-Rodriguez, R. (2009). Respiratory compensation and blood pH regulation during variable intensity exercise in trained versus untrained subjects. *European Journal of Applied Physiology*, 107, 83-93.
9. Gaitanos, G.C., Williams, C., Boobis, L.H., Brooks, S. (1993). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 75, 712-719.
10. García-Pallarés, J., Sánchez-Medina, L., Carrasco, L., Díaz, A., Izquierdo, M. (2009). Endurance and neuromuscular changes in world-class level kayakers during a periodized training cycle. *European Journal of Applied Physiology*, 106, 629-638.
11. García-Pallarés, J., García-Fernández, M., Sánchez-Medina, L., Izquierdo, M. (2010). Performance changes in world-class kayakers following two different training periodization models. *European Journal of Applied Physiology*, 110, 99-107.
12. García-Pallarés, J., Izquierdo, M. (2011). New strategies to optimize concurrent training in rowing and canoeing. *Sports Medicine*, 41(4), 329-343.
13. Gibala, M.J., Little, J.P., van Essen, M., Wilkin, G.P., Burgomaster, K.A., Safdar, A., Raha, S. & Tarnopolsky, M.A. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *Journal of Physiology*, 15 (Pt 3), 901-911.
14. Grant, S., Corbett, K., Amjad, A.M., Wilson, J., Aitchison, T. (1995). A comparison of methods of predicting maximum oxygen uptake. *British Journal of Sports Medicine*, 29(3), 147-52.
15. Greenhaff, P.L. (2003). Milestones in human physiology: Muscle energy metabolism and blood flow during contraction. *Journal of Physiology*, 551(2), 397-9.
16. González-Badillo, J.J., Ribas-Serna, J. (2002). *Bases de la programación del entrenamiento de la fuerza: Aplicación al alto rendimiento deportivo*. (p. 127) Barcelona: INDE.
17. Gorostiaga, M.E., Calbet, J.A.L. (2010). *Asignatura 5.1: Fisiología aplicada a la Actividad Física y el Alto Rendimiento Deportivo [Apuntes]*. Madrid, España: Universidad Autónoma de Madrid: Máster de Alto Rendimiento del Comité Olímpico Español.
18. Hagberg, J.M., Coyle, E.F. (1983). Physiological determinants of endurance performance as studied in competitive racewalkers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 15(4), 287-289.



19. Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjorth, N., Bach, R. & Hoff, J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(4), 665-671.
20. Holloszy, J., Coyle, E.F. (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *Journal of Applied Physiology*, 56, 831-838.
21. Kraemer, W.J., Deschenes, M.R., Fleck, S.J. (1988). Physiological adaptations to resistance exercise. Implications for athletic conditioning. *Sports Medicine*, 6, 246-256.
22. Krstrup, P., Mohr, M., Amstrup, T., Rysgaard, T., Johansen, J., Steensberg, A., Redersen, P.K., Bangsbo, J. (2003). The Yo-Yo Intermittent Recovery Test: Physiological Response, Reliability, and Validity. *Medicine Science of Sports Exercise*, 35(4), 697-705.
23. Léger, L., Boucher, R. (1980). An indirect continuous running multistage field test: the Université de Montréal track test. *Canadian Journal of Applied Sport Science*, 5(2), 77-84.
24. MacIntosh, B.R., Rishaug, P., Svedahl, K. (2003). Assessment of peak power and short-term work capacity. *European Journal of Applied Physiology*, 88(6), 572-579.
25. Matveiev, LP (1977) *Periodización del entrenamiento deportivo*. Madrid: INEF de Madrid.
26. Naimark, A., Wasserman, K., McIlroy, M.B. (1964). Continuous measurement of ventilatory exchange ratio during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 19, 644-652.
27. Navarro, F., Verdugo, M. (2007). *Modulo de Programación del entrenamiento de resistencia [Apuntes]*. Madrid, España: Universidad Autónoma de Madrid: Máster de Alto Rendimiento del Comité Olímpico Español.
28. Navarro, F. (1998) *La resistencia*. Madrid: Gymnos.
29. Neville, V., Pain, M.T.G., Kantor, J., Folland, J.P. (2010). Influence of crank length and crank-axle height on standing arm-crank (grinding) power. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42, 381-387.
30. Pallarés, J.G., Morán-Navarro, R., Pérez, C. (2011). Zonas y métodos de entrenamiento de la Resistencia cardiorrespiratoria. *Digitum*. Murcia, España: Universidad de Murcia
31. Pérez, M. (2008). Pruebas funcionales de valoración aeróbica. En Chicharro, J.L. y Fernández-Vaquero A. (Eds.) *Fisiología del Ejercicio* (3ª ed. P. 442) Madrid: Editorial Médica Panamericana.
32. Sánchez-Medina, L., Pérez, C.E., González-Badillo, J.J. (2010). Importance of the propulsive phase in strength assessment. *International Journal of Sports Medicine*, 31(2), 123-129.
33. Wasserman, K., McIlroy, M.B. (1964). Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *The American Journal of Physiology*, 14, 844-852.
34. Wasserman, K., Hansen, J.E., Sue, D.Y., Stringer, W.W., Whipp, B.J. (2005). *Principles of Exercise Testing and Interpretation*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.

| ZONA O RITMO | ABREV. | OBJETIVO | INTENSIDAD | | | | MÉTODOS DE ENTRENAMIENTO PARA SU DESARROLLO |
|------------------------------------|--------|---|---|--------------------|---------------------|---|---|
| | | | %VO _{2max} %FC _{reserva} | %FC _{max} | %VAM | [Lact] ⁻ mmol·L ⁻¹ | |
| Recuperación activa o Regenerativo | R0 | <ul style="list-style-type: none"> Preparar al deportista para la actividad principal de la sesión Recuperar al organismo entre estímulos (i.e., eliminar sustancias de desecho metabólico, descenso de la temperatura central, relleno de los depósitos energéticos, etc.). | <65 | <65 | <65 | - | <ul style="list-style-type: none"> Continuo Uniforme Extensivo |
| Umbral aeróbico | R1 | <ul style="list-style-type: none"> Aumentar la eficiencia aeróbica. Mejorar la capacidad de soportar esfuerzos aeróbicos prolongados mediante la mejora de la oxidación de grasas y el aumento de sus depósitos. | 65-75% | 70-80% | 65-75% | 1-2 | <ul style="list-style-type: none"> Continuo Uniforme Extensivo Continuo Uniforme Intensivo Continuo Variable 1 |
| Umbral anaeróbico | R2 | <ul style="list-style-type: none"> Aumentar la capacidad de soportar esfuerzos aeróbicos prolongados en condiciones de umbral anaeróbico. Mejora de la oxidación del glucógeno y sus depósitos. Adaptaciones centrales: ↑Afinidad por la hemoglobina, ↑Difusión pulmonar, ↑Volumen sistólico, ↑Gasto cardiaco, ↑Volemia. | 75-85% | 80-90% | 75-85% | 2-4 | <ul style="list-style-type: none"> Continuo Variable 1 Continuo Variable 2 Interválico Extensivo Largo |
| Consumo Máximo de Oxígeno | R3 | <ul style="list-style-type: none"> Aumentar la capacidad de soportar esfuerzos en condiciones próximas e iguales al VO_{2max}. | 90-95% | 95-98% | 90-95% | 4-6 | <ul style="list-style-type: none"> Interválico Extensivo Largo Interválico Extensivo Medio |
| | R3+ | <ul style="list-style-type: none"> Adaptaciones periféricas: ↑densidad capilar, ↑densidad mitocondrial, ↑enzimas oxidativas, ↑reservas de glucógeno. | 100% | 100% | 100% | 6-8 | <ul style="list-style-type: none"> Interválico Extensivo Medio Interválico Intensivo Corto |
| Capacidad anaeróbica | R4 | <ul style="list-style-type: none"> Mejorar la capacidad de tolerar elevadas concentraciones de acidosis metabólica. Sistema Buffer. Aumentar la capacidad glucolítica. Enzimas glucolíticas. | - | - | 105-120% | 8-14 | <ul style="list-style-type: none"> Interválico Extensivo Medio Interválico Intensivo Corto Repeticiones Largas |
| Potencia anaeróbica | R5 | <ul style="list-style-type: none"> Maximizar la tasa de producción de energía mediante la vía glucolítica anaeróbica. Incrementar los depósitos de fosfágenos de alta energía. | - | - | 120-140% | Máx. | <ul style="list-style-type: none"> Repeticiones Medias Repeticiones Cortas |
| Potencia anaeróbica aláctica | R6 | <ul style="list-style-type: none"> Maximizar la producción de energía mediante la vía anaeróbica aláctica (fosfágenos de alta energía). Velocidad máxima. Velocidad Resistida y Asistida. | - | - | > 160% Vel. Máx. | - | <ul style="list-style-type: none"> Interválico Intensivo Muy Corto Repeticiones Cortas |

Tabla 1- Zonas y Adaptaciones.

| | | | | INTENSIDAD | | | | | | VOLUMEN | | | | DENSIDAD | |
|--------------------------|-----------------------------|------------|-----------------|--|------------------------|--------------------|-----------|-----------------------------|---|--------------------------------|----------------------------------|-----------|---------------------------|----------------------------|-----------------|
| Método* | Abrev. | Zona Etto. | %VAM | %VO _{2max} | %FC _{reserva} | %FC _{max} | %UmAnae | [Lact] mmol·L ⁻¹ | T' TotalSesión | T' Rep | Nº Rep. | Nº Series | T' Recup _{Repet} | T' Recup _{Series} | |
| Continuos | Continuo Extensivo | CE | R0 R1 | < 65 | < 65 | < 65 | < 70 | 70 - 65 | 1-2 | varias horas - 30 min | varias horas - 30 min | - | - | - | - |
| | Continuo Intensivo | CI | R1 R2 | 65 - 80 | 65 - 80 | 65 - 80 | 70 - 80 | 70 - 80 | 1-2 | 90 min - 30 min | 90 min - 30 min | - | - | - | - |
| | Continuo Variable 1 | CV1 | R1 R2 | 75 - 90 | 75 - 90 | 75 - 90 | 80 - 95 | 85 - 100 | 2-4 | 60 min - 30 min | > 5 min | - | - | - | - |
| | | | R0 R1 | 60 - 75 | 60 - 75 | 60 - 75 | 65 - 80 | 60 - 85 | | | < 3 min | | | | |
| Continuo Variable 2 | CV2 | R2 R3 | 85 - 95 | 85 - 95 | 85 - 95 | 90 - 95 | 100 - 110 | 4-6 | 40 min - 20 min | entre 3 y 5 min | - | - | - | - | |
| | | R0 R1 | 60 - 75 | 60 - 75 | 60 - 75 | 65 - 80 | 60 - 85 | | | > 3 min | | | | | |
| Fraccionados | Interv. Extensivo Largo | IEL | R2 R3 | 85 - 95 | 85 - 95 | 85 - 95 | 90 - 95 | 90 - 105 | 3-5 | 70 min - 45 min | 15 min - 2 min | 6 - 10 | - | 2 min - 5 min | - |
| | Interv. Extensivo Medio | IEM | R3 R3+ R4 | 90 - 105 | 90 - 105 | 90 - 105 | 95 - 100 | - | 6-8 | 45 min - 35 min | 3 min - 1 min | 12 - 15 | - | 1 min - 3 min | - |
| | Interv. Intensivo Corto | IIC | R3+ R4 | 100 - 115 | 100 - 115 | - | - | - | 8-14 | 30 min - 25 min | 1 min - 20 s | 3 - 4 | 3 - 4 | 30 s - 2 min | 10 min - 12 min |
| | Interv. Intensivo Muy Corto | IIMC | R6 | > 160 | Velocidad Máxima | | | | | 60 min - 50 min | 15 s - 8 s | 3 - 4 | 6 - 8 | 2 min - 3 min | 5 min - 10 min |
| | Repet. Largas | RL | R4 | 105 - 120 | - | - | - | - | 8-14 | 70 min - 40 min | 3 min - 2 min | 3 - 6 | - | 10 min - 12 min | - |
| | Repet. Medias | RM | R5 | 120 - 140 | - | - | - | - | 15-20 | 70 min - 40 min | 90 s - 45 s | 3 - 6 | - | 10 min - 12 min | - |
| | Repet. Cortas | RC | R5 R6 | 140 - 160 | - | - | - | - | 10-15 | 70 min - 40 min | 30 s - 20 s | 6 - 10 | - | 8 min - 10 min | - |
| Control y Puesta a Punto | Competición y Control | CyC | Especif. Prueba | Misma que en Competición o ligeramente superior o inferior | | | | | Específico de la Prueba o ligeramente menor | 70 min - 40 min | T'Comp o ±20%T'Comp | 1 - 3 | - | 10 min - 20 min | - |
| | Serie Rotas | SR | Especif. Prueba | Igual que en Competición | | | | | | Variable según T' de la Prueba | Proportional al número de tramos | 1 - 3 | - | 2 min - 10 min | - |
| | Serie Simuladoras | SS | Especif. Prueba | | | | | | | | | 1 - 3 | - | 10 min - 20 min | - |

Tabla 2 – Métodos de Entrenamiento.

Métodos Continuos

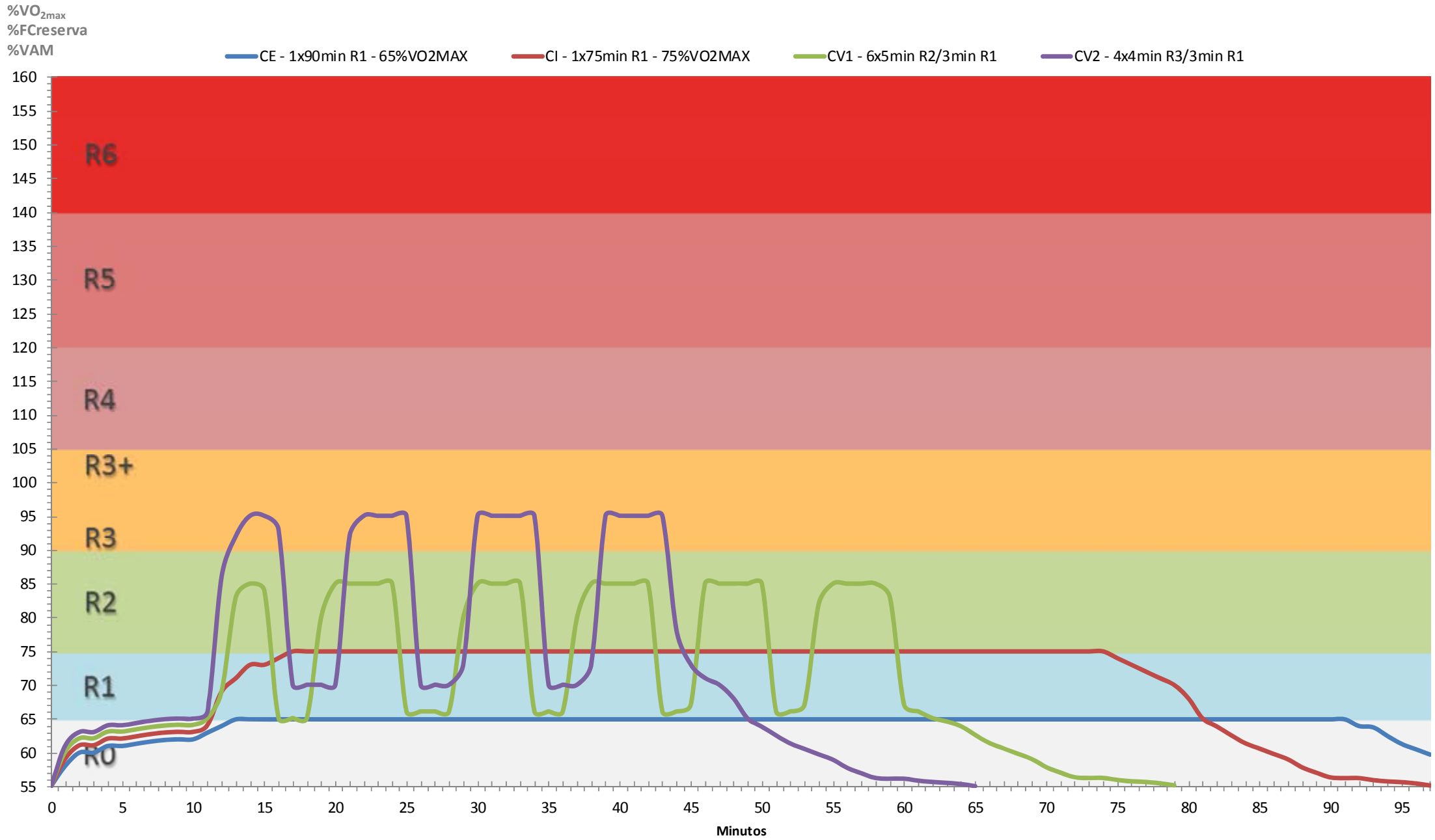


Figura 2 – Métodos Continuos

Métodos Fraccionados Interválicos

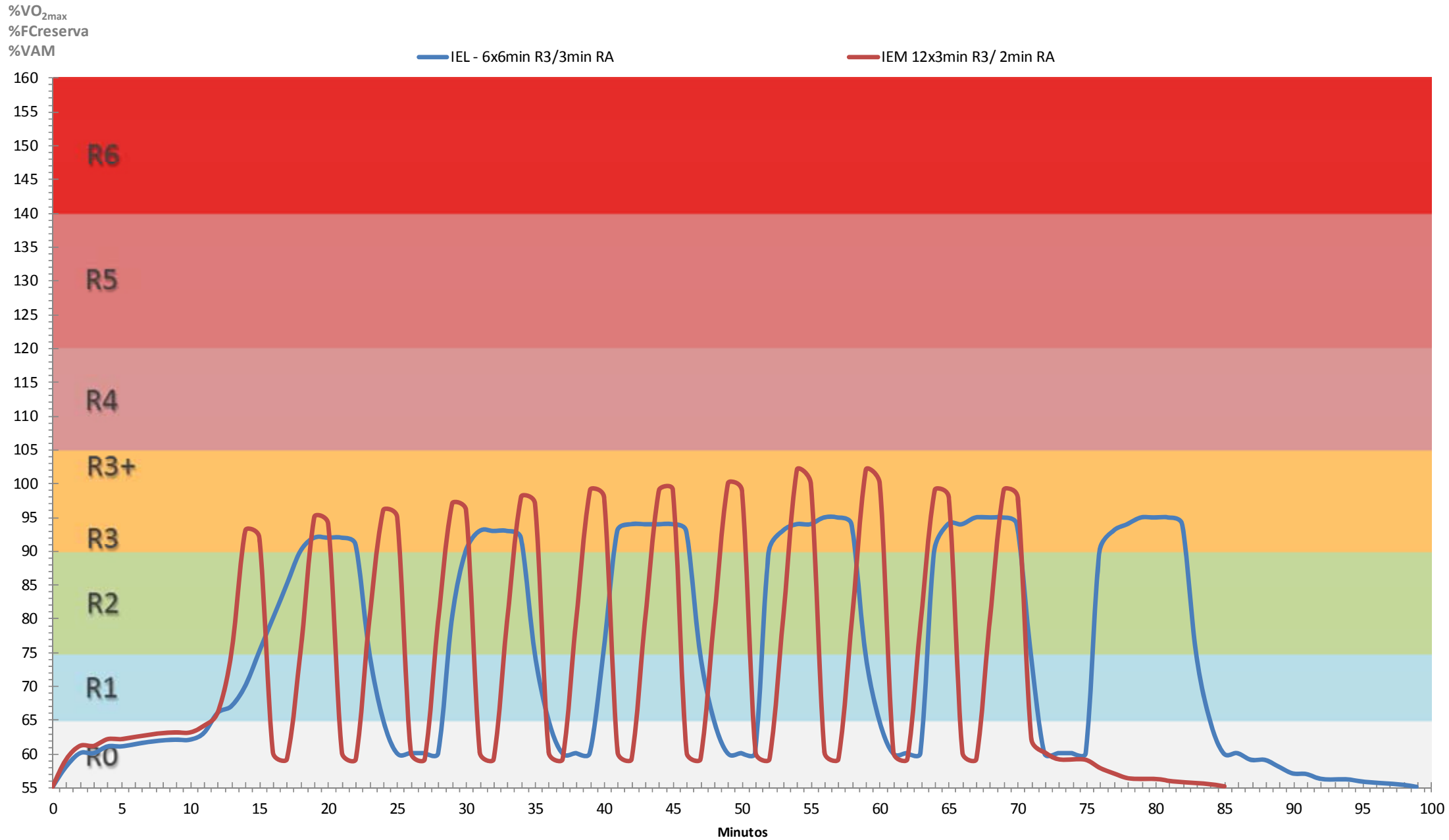


Figura 3 – Métodos Fraccionados Interválicos

Métodos Fraccionados Interválicos

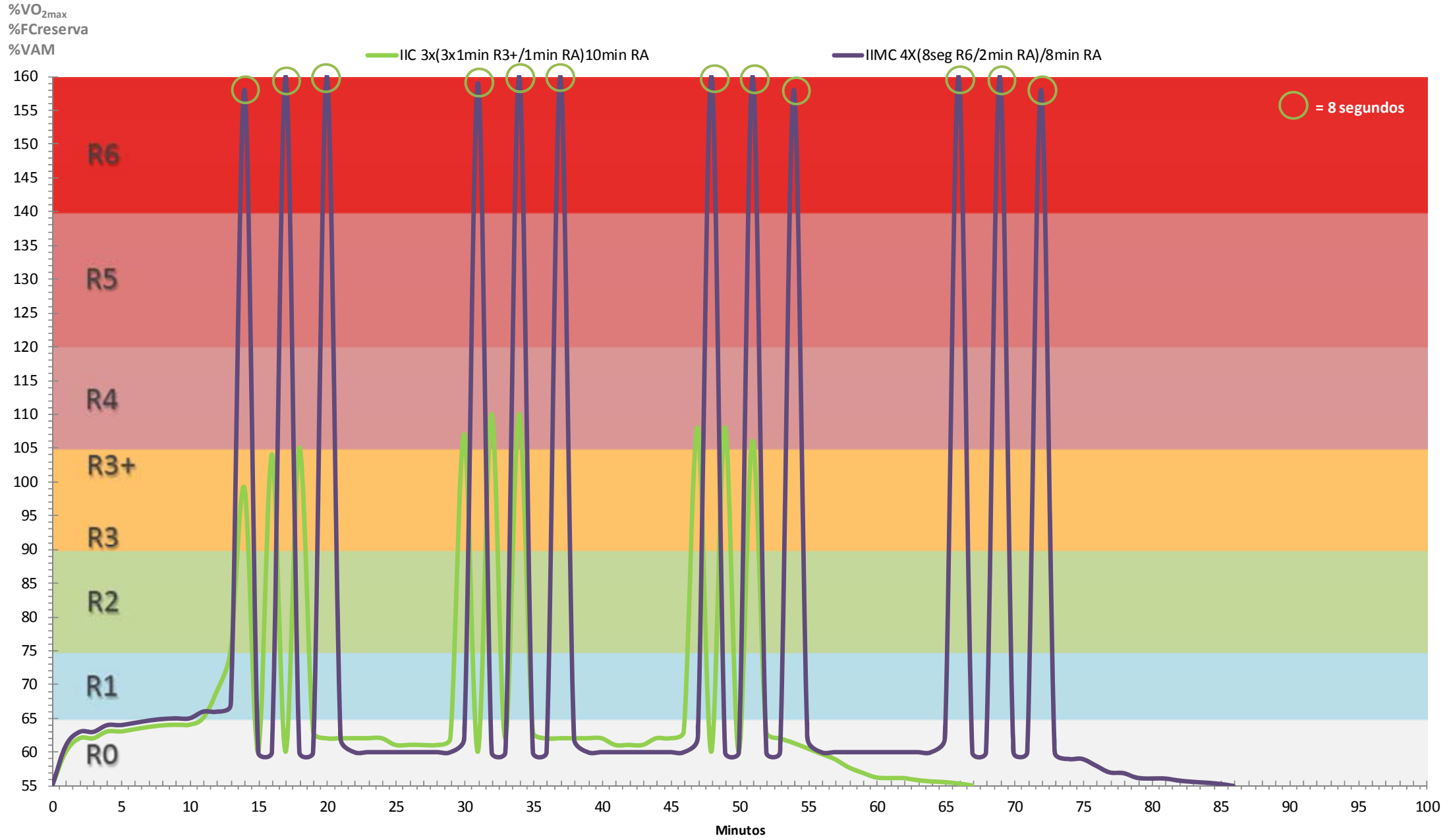


Figura 4 – Métodos Fraccionados Interválicos

Métodos Fraccionados de Repeticiones

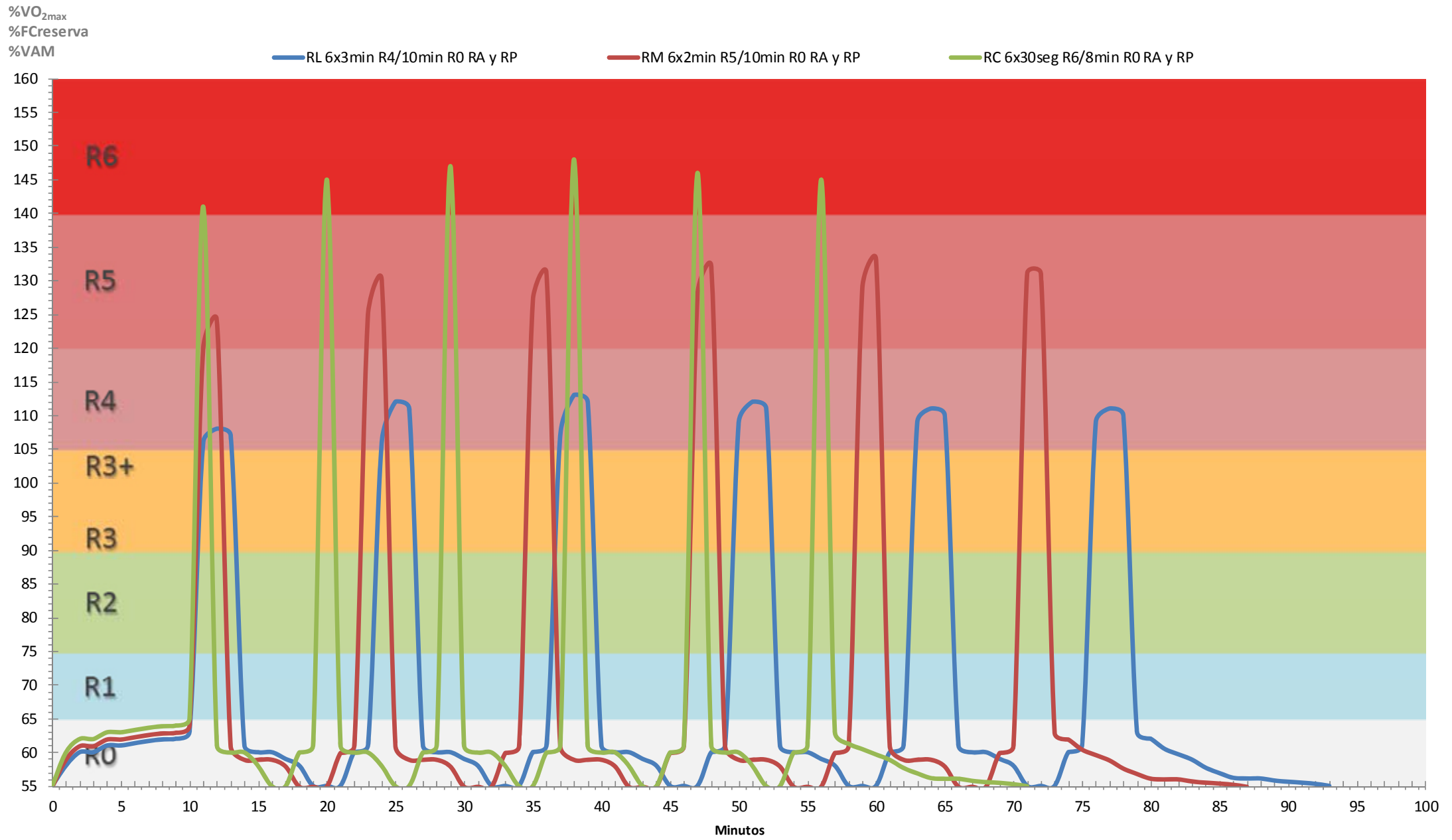


Figura 5 – Métodos Fraccionados de Repeticiones

Métodos de Valoración o Puesta a Punto

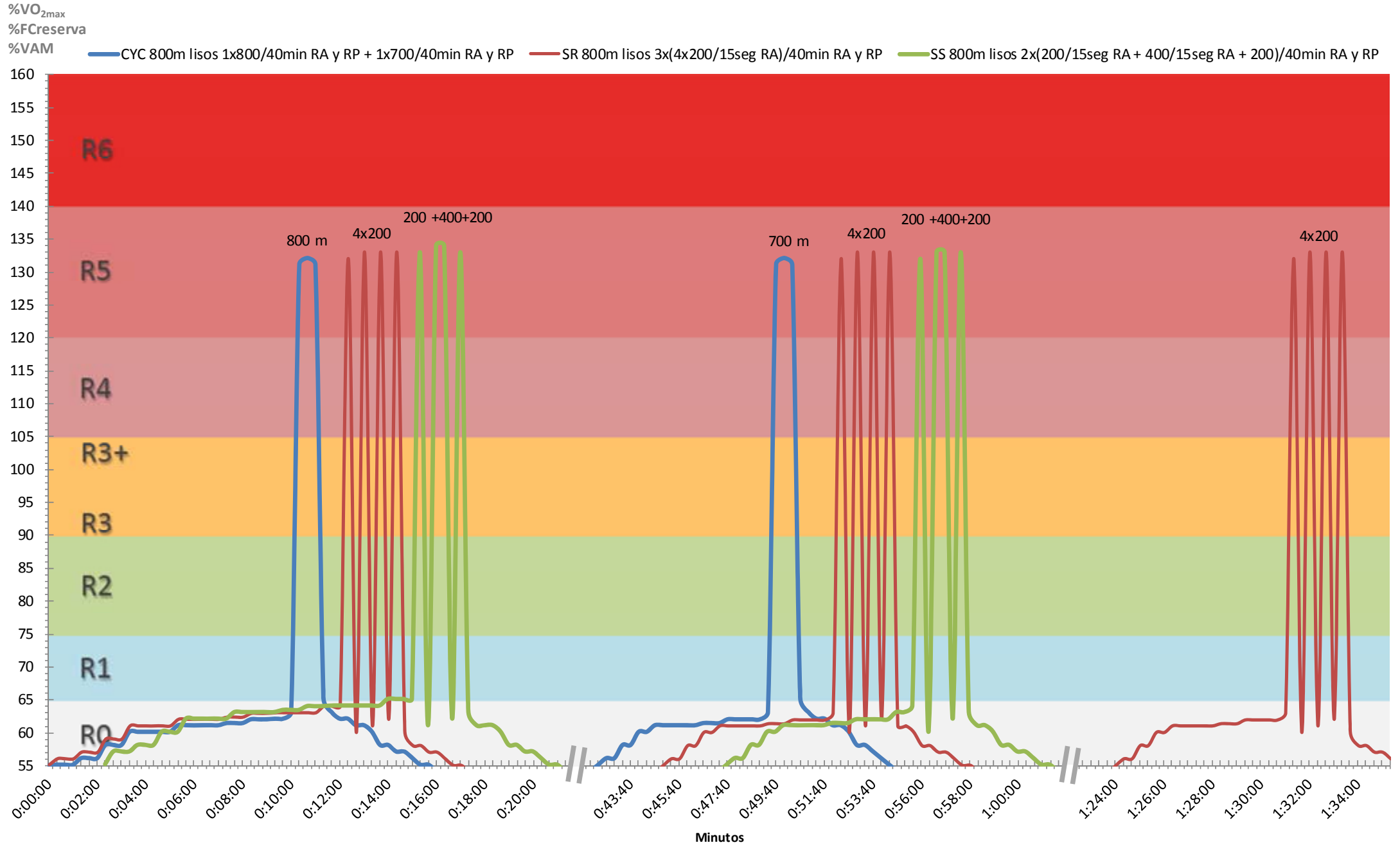


Figura 6 – Métodos de Valoración o Puesta a Punto