

Validez de la velocidad crítica como predictor del consumo máximo de oxígeno en atletas de mediofondo y fondo que se entrenan a la altura de Bogotá*

Recibido: 30 de marzo de 2011. ● Aceptado: 23 de mayo de 2011.

Paola Andrea Cárdenas Jurado^a

Resumen. El propósito de esta investigación fue determinar la validez de la velocidad crítica (VC) como prueba indirecta para predecir el consumo máximo de oxígeno (VO₂ máx.). Once (11) atletas: cuatro (4) mediofondistas y siete (7) fondistas de la selección de Bogotá y Cundinamarca con un promedio de edad, peso, talla e IMC, respectivamente de: 21 (D.E.: 2,91); 56,36 (D.E.: 4,48); 1,71 (D.E.: 0,05) y 19,29 (D.E.: 0,81). Los participantes de este estudio realizaron dos test; uno de laboratorio y otro de campo, para determinar el VO₂ máx. La estimación de la CV se realizó con un análisis de regresión lineal entre la D_{lim} y el T_{lim} de cada atleta. Para el análisis estadístico se empleó el programa SPSS versión 17.0. Los resultados de la investigación arrojaron un VO₂máx. de 63,54 ml/kg*min⁻¹ para la prueba de laboratorio y 62,36 ml/kg*min⁻¹ para la prueba de campo; no se encontraron

* Artículo asociado al proyecto del mismo nombre, financiado por Colciencias-Programa de Jóvenes Investigadores e Innovadores "Virginia Gutiérrez de Pineda" (sin código, 2010). La autora agradece el apoyo de la Escuela Militar de Cadetes "General José María Córdova" por haberle facilitado las instalaciones y equipos del laboratorio de fisiología del ejercicio del CICFI.

^a Profesional en Ciencias del Deporte de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA). Comentarios a: pao20nba@hotmail.com

diferencias significativas ($r=0,46$), sin embargo la correlación fue débil ($p=0,29$); además en los dos test la frecuencia cardiaca final alcanzó el 97 % de la máxima. Por otro lado el promedio de VC para los mediofondistas fue de 4,86 m/s-1 y para los fondistas 4,78 m/s-1; consiguiendo el mayor Tlim a VC el grupo de fondistas (2327 s) y reportándose en general un rango de 7 a 30 min a VC; además de un promedio de 30 min a esta velocidad. En conclusión, en el presente estudio no fue posible validar la VC, ya que el protocolo empleado en la prueba de laboratorio no fue el apropiado para los atletas; sin embargo se encontró que los mediofondistas obtuvieron un valor más alto de VC, y como era de esperar el mayor Tlim a VC fue alcanzado por los fondistas, demostrando así que la VC puede ser mantenida por un tiempo indefinido, dependiendo de la condición física de los deportistas.

Palabras clave. Consumo máximo de oxígeno (VO2máx), distancia límite (Dlim), tiempo límite (Tlim), velocidad crítica (VC).

Abstract. The purpose of this investigation was to determine the validity of critical velocity as an indirect test to predict the oxygen consumption (VO2max.). Eleven (11) athletes, four (4) middle distance runners and seven (7) long distance runners of the selection of Bogotá and Cundinamarca with an average age, weight, height and IMC, respectively: 21 (SD: 2.91), 56, 36 (SD: 4.48), 1.71 (SD: 0.05) and 19.29 (SD: 0.81). The participants in this study developed two tests, a test of laboratory and a test of field to determine the VO2max. The estimate of the CV was performed with linear regression analysis between Tlim and Dlim of each athlete. For the statistical analysis was used SPSS version 17.0. The research results showed that the VO2máx for laboratory test was 63.54 ml / kg * min-1 and 62.36 ml / kg * min-1 for the field test, this not reported significant differences between values ($r = 0.46$), however the correlation was weak ($p = 0.29$), also in the two tests the final heart rate reached the 97% of the maximum. On the other hand, the average CV was 4.86 m/s-1 for middle distance runners and 4.78 m/s-1 for long distance runners, getting the best Tlim the group of longer distance runners (2327 s), was reported in general a range of Tlim to CV of 7 to 60 min and an average of 30 min at this velocity. In conclusion, in this study was not possible validate the CV, because the protocol used in the laboratory test was not appropriate for the athletes. However was found that the middle distance runners gotten a higher value of CV compared with the long distance runners and as it was expected the largest Tlim to CV was reached by the long distance runners, showing that the CV can be maintained for an unlimited time, depending on the athlete's physical condition.

Keywords. Critical velocity, distance limit, time limit, maximum oxygen consumption (VO2max.).

Résumé. Le but de cette enquête était de déterminer la validité de la vitesse critique comme un test indirect à prévoir la consommation maximale d'oxygène (VO2max). Onze (11) athlètes, quatre (4) coureurs de demi-distance et sept (7) les coureurs de fond dans la sélection de Bogotá et Cundinamarca avec une moyenne d'âge, poids, taille et l'IMC,

respectivamente: 21 (SD: 2,91), 56, 36 (SD: 4,48), 1,71 (SD: 0,05) et 19,29 (SD: 0,81). Les participants à cette étude, a mené deux essais, un laboratoire et un terrain pour déterminer VO₂max. L'estimation de la VC a été réalisée avec une analyse de régression linéaire entre Tlim Dlim et chaque athlète. L'analyse statistique a été utilisé SPSS version 17.0. Les résultats de la recherche a montré une VO₂max. de 63,54 ml / kg * min⁻¹ pour les essais de laboratoire et de 62,36 ml / kg * min⁻¹ pour l'essai sur le terrain, aucune différence significative n'a été observée (r = 0,46), mais la corrélation était faible (p = 0,29), ainsi que deux tests de la fréquence cardiaque final a atteint 97% du maximum. D'autre part, la VC a été en moyenne de 4,86 les coureurs de demi-fond et les skieurs de fond m/s-1 m/s-1 4,78; de plus Tlim un groupe d'aubergistes VC (2327 s) et présenté dans varient généralement de 7 à 30 min de VC, en plus d'une moyenne de 30 min à cette vitesse. En conclusion de cette étude n'a pas été possible de valider la VC, comme le protocole utilisé dans le test de laboratoire n'est pas approprié pour les athlètes, mais nous avons constaté que les coureurs de demi-fond ont été une valeur plus élevée de VC et comme prévu Tlim VC au plus haut a été atteint par les aubergistes, montrant que la VC peut être maintenu indéfiniment, en fonction de la condition physique des athlètes.

Mots-clés. Consommation maximale d'oxygène (VO₂max), délai d'attente, limite de distance.

Vitesse critique,

Resumo. O objetivo desta pesquisa foi determinar a validade da velocidade crítica como prova indireta para predizer o consumo máximo de oxigênio (VO₂ máx.). Onze (11) atletas: quatro (4) meio fundistas e sete (7) fundistas da seleção de Bogotá e Cundinamarca numa media de idade, peso, talhe e IMC, respectivamente de: 21 (D.E.: 2,91); 56,36 (D.E.: 4,48); 1,71 (D.E.: 0,05) e 19,29 (D.E.: 0,81). Os participantes deste estudo fizeram dois testes; um deles de laboratório e o outro de campo, para determinar o VO₂máx. A estimação da VC se fez com uma análise de regressão lineal entre a Dlim e o Tlim de cada atleta. Para a análise estadística se empregou o programa SPSS versão 17.0. Os resultados da pesquisa mostraram um VO₂máx. de 63,54 ml/kg*min⁻¹ para a prova de laboratório e 62,36 ml/kg*min⁻¹ para a prova de campo; não se acharam diferenças significativas (r=0,46), contudo a correlação foi fraca (p=0,29); mesmo assim, nos dois testes o ritmo cardíaco final alcançou o 97 % da máxima. Por outro lado a média de VC para os meio fundistas foi de 4,86 m/s-1 e para os fundistas 4,78 m/s-1; conseguindo o maior Tlim a VC o grupo de fundistas (2327 s) e reportando no geral um rango de 7 a 30 min. a VC; alem disso, numa media de 30 min. nesta velocidade. Nos resultados do presente estudo não foi possível validar a VC, pelo fato que o protocolo empregado na prova de laboratório não tem sido o apropriado para os atletas; no entanto se encontrou que os meio fundistas obtiveram um valor mais alto de VC e como era de se esperar o maior Tlim a VC foi alcançado pelos fundistas, corroborando que a VC pode ser mantida por um tempo indefinido, dependendo da condição física dos esportistas.

Palavras-chave. Velocidade crítica, distância limite, tempo limite, consumo máximo de oxigênio (VO₂máx).

Introducción

El rendimiento en muchos deportes depende en gran medida de las cualidades aeróbicas medibles a través de indicadores como el VO_2 máx., umbral anaeróbico y la economía del trabajo, éstos se consideran predictivos del resultado en competencia y de la recuperación post-ejercicio (Di Prampero, 1999). De esta manera, aunque se le ha atribuido mayor importancia, el VO_2 máx. no es el único indicador de rendimiento deportivo (Berthon & Fellmann, 2002). En pruebas de esfuerzo máximo, la Velocidad Crítica (VC) es la velocidad que puede ser mantenida cuando se alcanza el VO_2 máx. en la carrera (Di Prampero, 1999). Además, es la proporción de un modelo simplificado de dos componentes del sistema bioenergético humano anaeróbico-aeróbico (Moritani, Nagata, deVries & Muro, 1981). En otras palabras, Billat definió la velocidad crítica como la pendiente de la relación lineal entre la D_{lim} y el T_{lim} en las distancias de 1.500 a 5.000m (Billat, Renoux, Pinoteau & Petit, 2002); esta función corresponde al aumento del requerimiento del metabolismo aeróbico con el aumento de la distancia.

Estudios experimentales en el ámbito internacional han demostrado que las personas pueden sostener una VC de 20 a 40 min, dependiendo de su nivel de condición física. Correr a VC induce un incremento del lactato en la sangre y en el VO_2 máx. y no puede mantenerse por un largo tiempo, como fue postulado inicialmente (Maud & Foster, 2006). Por esta razón, el agotamiento de la Capacidad Anaeróbica de Trabajo (AWC) es suplementado por el suministro aeróbico, y este último pasa a contribuir en máxima proporción, permitiendo alcanzar mayor fuerza que si sólo participasen los sistemas anaeróbicos, manteniendo así el trabajo por un período no definido de tiempo. La determinación de la VC provee una buena estimación tanto de la AWC como de la potencia aeróbica. Adicionalmente, se puede estimar el tiempo durante el cual una persona puede sostener la velocidad aeróbica máxima (VAM) (Poole, 1986). Es importante recalcar que quienes tienen una alta VAM y VO_2 máx. no son necesariamente los que tienen un largo tiempo límite a VAM. Algunos autores han postulado que este tiempo hasta el agotamiento depende de la relación entre la AWC y la diferencia de velocidad entre VAM y el LT. En otras palabras, un sujeto con un alto VO_2 máx. y LT también poseería una alta VC (Powers & Howley, 2007).

En la actualidad, los entrenadores deben valerse de la aplicación de pruebas funcionales que den cuenta de los logros, estancamientos o retrocesos de su deportista y así ajustar los siguientes ciclos de trabajo; la aplicación de las pruebas anteriormente descritas permite identificar y conocer el nivel de rendimiento del deportista. No obstante, deben tenerse en cuenta las condiciones de hipoxia relativa, donde el consumo de oxígeno se ve afectado directamente en una ciudad como Bogotá, a 2640 metros sobre el nivel del mar (Banco de la República de Colombia, 2005, julio).

La mayor evidencia disponible relaciona la VC con otros indicadores del ejercicio aeróbico, sin embargo muy pocos estudios han examinado las respuestas fisiológicas del ejercicio a velocidad crítica (Brickley, Doust & Williams, 2002). Es así que el presente trabajo pretende determinar la validez de la VC como prueba indirecta para predecir el VO₂máx. en atletas mediofondistas y fondistas que viven y entrenan en Bogotá y Cundinamarca; de igual manera establecer la VC de los atletas a partir de sus marcas personales, hallar el tiempo límite a VC en una prueba de campo y analizar la relación entre la velocidad crítica y las pruebas de competencia.

1. Materiales y métodos

Sujetos. En este estudio participaron 11 atletas de las selecciones de Bogotá y Cundinamarca; los promedios en edad (años), peso (kg), talla (m) e Índice de Masa Corporal (IMC) son respectivamente: 21 (D.E.: 2,91); 56,36 (D.E.: 4,48); 1,71 (D.E.: 0,05) y 19,29 (D.E.: 0,81). Del total de la muestra cuatro (4) deportistas compiten en pruebas de mediofondo, quienes en promedio registraron en los 800m (120 seg), 1500m (250 seg), 3000m (569 seg) y siete (7) en pruebas de fondo, los cuales en promedio reportaron en los 3000m (564 seg), 5000m (976 seg) y 10000m (2024 seg). Todos los atletas dieron voluntariamente su consentimiento informado por escrito para participar en el estudio. La investigación se clasifica dentro de riesgo mínimo, según la resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia

La selección de la muestra se llevó a cabo por medio de los siguientes criterios de inclusión: género masculino, rango de edad de 18 a 26 años, tiempo de entrenamiento como mínimo de 1 año, pertenecer a una liga; los registros de las marcas no debían exceder los últimos tres meses y vivir y entrenar a la altura de Bogotá. Por otro lado los criterios de exclusión fueron: Lesiones (fracturas, esguinces, desgarros, etc.), ingesta de medicamentos durante los tres días previos a la realización de los protocolos, enfermedad e incumplimiento en la ejecución de los test.

Determinación de la velocidad crítica. La velocidad crítica se determinó por medio de un análisis de regresión lineal entre los mejores registros de competencia de cada deportista en las pruebas de 800m, 1.500m y 3.000m (mediofondista) ó 3.000m, 5.000m y 10.000m (fondistas), marcas que no podían exceder los últimos tres meses.

Procedimientos. El presente estudio se desarrolló en dos momentos; en el primero se ejecutó una prueba de laboratorio; en la cual la Frecuencia cardiaca (Fc) se monitorizó durante todo el desarrollo del test (reposo-ejercicio-recuperación), con un Monitor Polar S810.

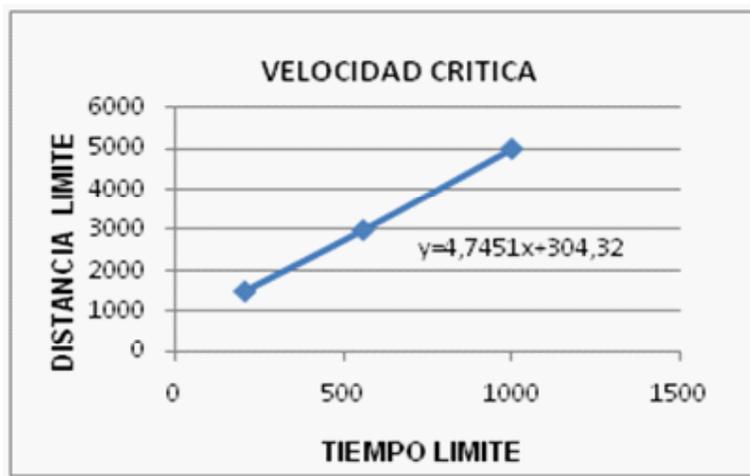


Figura 1. Determinación de la Velocidad Crítica
Fuente: Elaboración propia.

El deportista contó con 20 minutos para realizar el respectivo calentamiento. El protocolo empleado fue el de “BRUCE”, el cual se ejecutó en una banda caminadora (Cosmos) y estuvo dividido en períodos de 3 min. de duración, realizándose un aumento progresivo de la velocidad y la inclinación al finalizar cada uno de estos. El VO_{2max} fue determinado por medio del análisis de gases con el ergoespirómetro Cortex- Metalyzer 3B; todos estos procedimientos se llevaron a cabo en las instalaciones del laboratorio de fisiología de la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”.

En el segundo momento, se desarrolló una Prueba de Campo, en la cual se hicieron las mismas valoraciones que en el test anterior.

Previos a la iniciación del test el deportista contó con 20 minutos para realizar el respectivo calentamiento. Este test se desarrolló en la pista sintética del salitre y tuvo por objetivo el mantenimiento de la VC durante el mayor tiempo posible; es importante recalcar que la velocidad para cada atleta fue diferente; ya que esta depende de la relación entre las mejores marcas y las distancias de competencia. Para el control de la velocidad se tomó como referencia cuatro conos ubicados en el andarivel interno de la pista, separados unos de otros a una distancia de 100m. El test se dio por finalizado en el momento en que el atleta, por segunda vez consecutiva, no logró llegar al cono al tiempo indicado.

Es preciso informar que los protocolos se llevaron a cabo en horas de la mañana entre las 7 y 11 am; el lapso de tiempo entre cada test fue de 72 horas. Asimismo las condiciones ambientales del laboratorio reportaron en promedio una presión Barométrica de 758 ml/Hg y temperatura ambiente de 21° C.

Resultados y discusión. En primer lugar, las regresiones lineales entre el Tlim vs. Dlim que se emplearon para la determinación de la velocidad crítica arrojaron una correlación fuerte entre los valores ($r=0,99$). Ver figura 2.

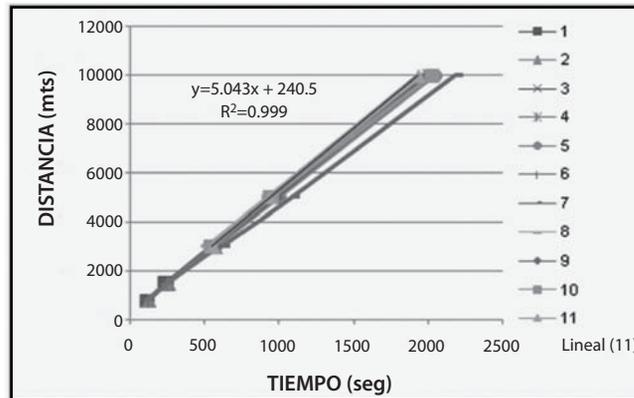


Figura 2. Determinación de la Velocidad Crítica

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 1 se pueden observar los resultados de los deportistas en el test de Tlim a Velocidad Crítica. Es importante anotar que el promedio de VC fue 4,8 (D.E: 0,17) m/s-1, obteniendo el mayor valor el atleta No. 11 con 5,04 m/s-1 y el menor valor el atleta No. 4 con 4,49 m/s-1. En cuanto al Tlim a VC, el atleta No.10 (fondista) fue el que más tiempo soportó (3605 s), corriendo a una velocidad de 4,70 m/s-1 y el atleta No. 7 (mediofondista) fue el que menor tiempo resistió (460 s), corriendo a una velocidad de 4,92 m/s-1. En promedio se obtuvo un Tlim a VC de 1855,36 (D.E.: 1205,16) segundos y un promedio de VO2máx. de 62 ml/kg/min-1 (D.E.:4,68); siendo el atleta No. 7, quien obtuvo el valor más alto de VO2máx. 68 ml/kg/min-1.

Por otra parte el promedio de VO2máx. calculado fue 62 ml/kg/min-1 (D.E.:4,68); el atleta No. 7, obtuvo el valor más alto de VO2 máx. 68 ml/kg/min-1.

Tabla 1. Resultado del test de Campo.

No.	REPOSO FC p*m	FINAL FC p*m	3 MINUTOS FC p*m	5 MINUTOS FC p*m	VO2 ml*Kg*min-1 Calculado	VC m/s-1	TIEMPO TOTAL seg
1	56	193	110	108	67,5	5,03	728
2	59	190	123	89	65,41	4,92	743
3	53	196	122	102	62,73	4,82	2083
4	55	203	133	127	58,16	4,49	1317
5	56	197	117	119	52,49	4,79	1256
6	56	193	147	142	59,21	4,57	2189
7	56	189	124	121	68,57	4,92	460
8	58	193	131	130	62,47	4,82	3600
9	47	189	103	79	62,12	4,85	3417
10	57	189	146	143	60,85	4,7	3605
11	65	195	132	122	66,5	5,04	1011
PROM	56	193	126	116	62	4,8	1855,36
DESV	4,3	4,3	13,5	20,3	4,68	0,17	1205,16

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los resultados de la ergoespirometría muestran que el atleta No. 1 obtuvo el mayor valor de VO2máx. 72 ml*kg*min-1, mientras que el atleta No. 8 alcanzó el menor valor con un VO2máx. 57 ml*kg*min-1. El promedio entre el grupo de deportistas fue de 64 (D.E: 3,70) ml*kg*min-1.

Tabla 2. Resultado del test de Laboratorio.

No.	REPOSO FC p*m	FINAL FC p*m	3 MINUTOS FC p*m	5 MINUTOS FC p*m	VO2 ml*Kg*min-1 Calculado	TIEMPO TOTAL seg
1	65	190	137	125	72	1324
2	61	183	121	107	63	1268
3	57	182	110	102	62	1387
4	61	202	143	119	64	1257
5	55	197	126	120	65	1229
6	58	200	126	122	59	1264
7	56	189	126	120	66	1134
8	57	199	128	120	57	1294
9	55	193	110	103	62	1300
10	63	196	136	122	65	1347
11	67	197	129	126	64	1345
PROM	60	193	127	116,9	64	1286,27
DESV	3,94	6,4	9,8	8,24	3,7	68,63

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, el comportamiento de la frecuencia cardiaca durante toda la prueba fue el siguiente: Promedio de frecuencia cardiaca en reposo 60 (D.E: 3,94) p*m; promedio de frecuencia cardiaca al finalizar la prueba 193 (D.E: 6,40) p*m; promedio de frecuencia cardiaca al tercer minuto de recuperación 127 (D.E: 9,80) p*m; promedio de frecuencia cardiaca al quinto minuto de recuperación 116,9 (D.E: 8,24) p*m. Ver tabla 2.

2. Análisis Estadístico

Para llevar a cabo el análisis estadístico de las variables entre los dos test, se utilizó la prueba t para medias de dos muestras emparejadas, con el paquete estadístico SPSS versión 17.0. A continuación se pueden observar los resultados arrojados:

Tabla 3. Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	VO2máx. ml/(kg*min-1) Laboratorio	VO2 máx. ml/(kg*min-1) calculado Test de Campo
Media	63,54545455	62,36454545
Desviación Estándar	3,88	4,67
Observaciones	11	11
Coefficiente de correlación de Pearson	0,296481201	
p(T<=t) dos colas	0,461770578	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3 se observa que a pesar de no encontrar diferencias significativas ($p=0,461$) entre el VO2máx. determinado por medio del test de laboratorio y el VO2máx. calculado, existe una correlación débil entre las variables ($r=0,29$).

Tabla 4. Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	FC (p*m) Laboratorio	REPOSO FC (p*m) Test de Campo
Media	59,54545455	56,18181818
Desviación Estándar	4,13	4,31
Observaciones	11	11
Coefficiente de correlación de Pearson	0,476948199	
P(T<=t) dos colas	0,027278728	

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los valores de frecuencia cardiaca en reposo se encontraron diferencias significativas entre las pruebas ($p=0,027$), además de una correlación débil ($r=0,47$). Los promedios fueron 59,54 (D.E.: 4,13) p*m en el test de laboratorio y en el test de campo 56,18 (D.E: 4,31) p*m.

Tabla 5. Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	FINAL	
	FC (p*m) Laboratorio	FC (p*m) Test de Campo
Media	193,4545455	193,3636364
Desviación Estándar	6,71	4,30
Observaciones	11	11
Coefficiente de correlación de Pearson	0,371631506	
P($T \leq t$) dos colas	0,963847515	

Fuente: Elaboración propia.

En el análisis estadístico de la frecuencia cardiaca final registrada en los dos test, se observa que no hay diferencias significativas entre los datos ($p=0,96$); sin embargo existe una correlación débil entre los valores ($r=0,37$).

Tabla 6. Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

3 MINUTOS DE RECUPERACION

	FC (p*m) Laboratorio	FC (p*m) Test de Campo
Media	126,5454545	126,1818182
Desviación Estándar	10,28	13,59
Observaciones	11	11
Coefficiente de correlación de Pearson	0,371566672	
P($T \leq t$) dos colas	0,931363186	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 6 se puede observar que el promedio de la frecuencia cardiaca a los 3 minutos de recuperación para el test de laboratorio fue de 126,54 (D.E.:10,28) p*m y para el test de campo 126,18 (D.E.:13,59) p*m. A pesar de no encontrar diferencias significativas entre las variables ($p=0,93$), se evidencia una correlación débil ($r=0,37$).

Tabla 7. Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

5 MINUTOS DE RECUPERACION

	FC (p*m) Laboratorio	FC (p*m) Test de Campo
Media	116,9090909	116,5454545
Desviación Estándar	8,64	20,36
Observaciones	11	11
Coefficiente de correlación de Pearson	0,81001761	
P(T<=t) dos colas	0,934413903	

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede constatar en la tabla 7, no existen diferencias significativas entre los valores de las frecuencias cardiacas registradas a los 5 minutos de recuperación en los dos test ($p=0,93$), adicional a esto existe una correlación fuerte entre los valores ($r=0,81$).

3. Discusión

La literatura científica ha evidenciado que el VO_2 máx. aumenta progresivamente con la edad y se alcanza el máximo entre los 18 y los 25 años; así mismo Calvo (2005) dice que a mayor masa muscular se prueban mayores niveles de VO_2 máx., en cuanto al sexo, para cualquier edad, es mayor en los hombres. En estas diferencias parecen intervenir varios factores, como condicionantes genéticos, hormonales e incluso la menor cantidad de hemoglobina que las mujeres presentan debido a los ciclos menstruales. Con el propósito de evitar que esta característica se convirtiera en un factor limitante, se decidió conformar la muestra de estudio solo con hombres; así se minimizaría la influencia del sexo sobre el comportamiento del VO_2 máx. (Calvo, 2005).

Numerosos estudios han analizado el concepto de VC y el tiempo hasta el cansancio a VC, sin embargo muy pocos estudios han examinado las respuestas fisiológicas del ejercicio a Velocidad Crítica (Brickley, Doust & Williams, 2002). Actualmente, se conoce en la literatura que Poole y sus colaboradores han estudiado más a fondo este tema; ellos dicen que la VC representaba la intensidad umbral a partir de la cual el VO_2 aumentaría gradualmente a VO_2 máx. No obstante, algunos autores encontraron que este no sería el caso y que la velocidad necesitaba incrementarse aproximadamente en un 10% para obtener el máximo consumo de oxígeno (Brickley, Doust & Williams, 2002). En la presente investigación los resultados de VO_2 máx. no evidenciaron diferencias significativas entre los valores determinados en la prueba de laboratorio y los valores encontrados en la prueba de campo ($p= 0,46$); sin embargo existió una correlación débil entre estos ($r=0,29$), ver tabla 5. A pesar de los presentes hallazgos, se deduce que el test de carga incremental, empleado en la prueba de laboratorio, no fue el protocolo adecuado para el estudio, debido a que los

deportistas no reportaron fatiga cardiorespiratoria en el momento de finalizar el test; sino que evidenciaron fatiga muscular a nivel del tibial anterior y los gastronemios; esto debido a la inclinación de la banda.

Así mismo, en el análisis del comportamiento de la frecuencia cardiaca en reposo entre los test, se encontraron diferencias significativas entre los valores ($p=0,027$), además de una correlación débil ($r=0,47$). La frecuencia cardiaca en reposo reportada en la ergoespirometría arrojó valores más altos que en la prueba de campo, y ello se puede asociar a las condiciones de estrés que genera el uso de equipos para la valoración fisiológica de los deportistas, la participación de un equipo interdisciplinario y el ambiente del laboratorio. En cuanto a la frecuencia cardiaca final en los dos test, se evidenció una correlación débil entre los valores ($r=0,37$); sin embargo no se hallaron diferencias significativas entre los datos ($p=0,96$). A pesar de ello y como se enunció anteriormente, la fatiga muscular fue el principal limitante en la prueba de laboratorio, por lo cual no se puede deducir que los deportistas realizaron la prueba hasta su máxima capacidad de exigencia cardiorespiratoria; del mismo modo sucedió en el análisis de las frecuencias cardiacas a los 3 minutos de recuperación. Estos resultados no encontraron diferencias significativas entre las variables ($p=0,93$), pero se evidenció una correlación débil ($r=0,37$), dado que la recuperación en el test de laboratorio se vio sometida a condiciones estandarizadas, donde el deportista debía acoplarse a una velocidad y al descenso progresivo de la inclinación en la banda. Por el contrario, en el análisis de la frecuencia cardiaca a los 5 minutos de recuperación no se encontraron diferencias significativas entre los valores ($p=0,93$), y además se evidenció una correlación fuerte entre ellos ($r=0,81$); estos resultados están relacionados con la disminución del estrés generado por el equipo interdisciplinario y el descenso total de la banda, lo cual simuló condiciones semejantes a las de competencia. También hay que precisar que el porcentaje de frecuencia cardiaca final que se reportó en el test de campo fue del 97% de la máxima; lo cual confirma los hallazgos de Bull, quien encontró que los sujetos que podían mantener la VC alcanzaban una frecuencia cardiaca del 92% de la máxima (Bull, Housh, Go & Sr, 2002).

Por otro lado, recientes estudios experimentales han demostrado que las personas pueden sostener la VC de 20 a 40 min, dependiendo de su nivel de condición física (Poole, 1986); sin embargo Monod y Scherrer (1965) definieron la VC como la representación de la "máxima tasa de trabajo que puede ser mantenida por un largo tiempo sin fatiga" (Monod & Scherrer, 1965). En nuestro estudio el rango de Tlim a VC fue de 7 a 60 minutos; estos datos confirman los resultados encontrados en otras investigaciones, que reportaron un rango de 10 a 60 minutos a VC, dependiendo en parte del modo de ejercicio y del sujeto de la muestra (Brickley, Doust & Williams, 2002). A pesar de ello, en esta investigación se encontró una gran variedad de tiempo límite entre los sujetos; esto podría explicarse ya sea por la edad deportiva, prueba de competencia u otros factores físicos no considerados en la presente investigación. Entre tanto, una investigación realizada por Pepper y sus colaboradores

en 1992, se estudió la exactitud de la prueba de VC para la predicción de tiempo hasta el agotamiento (Tlim) en una banda rodante, encontrando así que al 100% de la VC, los sujetos mantuvieron el ritmo de carrera en promedio de 16,43 minutos (D.E.: 6,08) (Pepper, Housh & Johnson, 1992); estos resultados difieren de los datos hallados en nuestra investigación, ya que el promedio de Tlim a VC fue de 30 minutos. Hay que aclarar que, 8 de los 10 sujetos que participaron en la investigación de Pepper, fueron capaces de mantener el ritmo de carrera al 85% de VC durante 60 minutos. Estos resultados no apoyan la validez de la prueba de VC para la predicción del Tlim en banda rodante e indicó que, en el 20% de los casos, la VC sobreestimó la velocidad de carrera que se podría mantener durante 60 minutos en más del 15%.

A pesar de los resultados arrojados en este estudio, los mismos no permitieron validar el test de mantenimiento de la velocidad crítica, para predecir el VO₂máx. Por tal motivo se llevaron a cabo algunos análisis estadísticos entre los grupos de estudio; esto con el fin de saber qué tanto influye la prueba de competencia con respecto a las variables de estudio. A continuación se mencionan y discuten dichos resultados.

Tabla 8. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales velocidad crítica velocidad crítica

	Mediofondo	Fondo
Media	4,86	4,787142857
Varianza	66667	0,027657143
Observaciones	4	7
Estadístico t	0,616467077	
Valor crítico de t (una cola)	2,015048372	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 8, se observan los valores de la VC para mediofondistas y fondistas, evidenciándose así diferencias significativas entre los valores de VC para los dos grupos.

Tabla 9. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales velocidad crítica Ttotal en Campo

	Mediofondo	Fondo
Media	1030	2327
Varianza	613918	1400074,333
Observaciones	4	7
Estadístico t	-2,18148051	
Valor crítico de t (una cola)	1,833112923	

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, el promedio de tiempo total registrado en la prueba de campo, fue mayor para los fondistas (2327 s) que para los mediofondistas (1030 s). En cuanto al análisis estadístico se encontraron diferencias significativas entre los datos.

Después de observar el comportamiento de estas variables de estudio entre el grupo de mediofondistas y fondistas para la prueba de campo, se puede concluir que en este estudio los mediofondistas reportaron valores más altos de VC en comparación con los fondistas. Además, se observa que el mayor Tlim a VC lo alcanzaron los fondistas. Dichos hallazgos se pueden explicar; ya que el entrenamiento específico en las modalidades de fondo exige un trabajo continuo, el cual mejora fundamentalmente el sistema de transporte de oxígeno o la tolerancia aeróbica. Además este tipo de entrenamiento induce una hipertrofia (agrandamiento/aumento) en la cavidad/volumen del ventrículo izquierdo en el miocardio (el corazón), el cual se encarga de eyectar la sangre hacia los tejidos corporales. Consecuentemente, esto aumenta el rendimiento o gasto cardiaco. Por otro lado, aumenta la hemoglobina de los glóbulos rojos, lo que permite conducir mayor cantidad de oxígeno y de dióxido de carbono (Lopategui, 2000).

Conclusión

Después de haber analizado los resultados del estudio, se puede concluir que el protocolo de Bruce empleado en la prueba de laboratorio, no fue el adecuado para la población muestra; ya que la inclinación de la banda y las condiciones de laboratorio repercutieron en el rendimiento de los deportistas; ello se evidenció en la incapacidad para mantener el ejercicio debido a la fatiga muscular a nivel del tibial anterior y gastronemios; por lo demás el estrés generado por el empleo de máscaras interfirió de igual forma en el rendimiento de los mismos. Es por esta razón que a pesar de no encontrar diferencias significativas ($p=0,461$) entre el $VO_{2\text{máx}}$ determinado por medio del test de laboratorio y el test de campo, no podemos comparar estos valores ya que los resultados no son confiables.

En cuanto al Tlim a VC, estudios experimentales plantean un rango de 20 a 40 min (Poole, 1986); sin embargo, la presente investigación reportó un rango de 7 min a 60 minutos, demostrando así que la VC puede ser soportada por un tiempo ilimitado, ya que el rendimiento se encuentra directamente asociado con la acumulación de metabolitos en la sangre y el músculo. Por otro lado, es importante resaltar que el Tlim a VC tiene correlación con la modalidad que el atleta practica, ya que este indicador fisiológico del ejercicio varía dependiendo de la distancia y registros en cada una de ellas.

Adicionalmente, se puede concluir que en este estudio los mediofondistas alcanzaron una mayor VC (4,86 m/s-1); en comparación con los fondistas (4,78 m/s-1); por consiguiente y como sería lógico los fondistas fueron los que reportaron mayor Tlim a VC (2327 s), ello

debido a que el entrenamiento específico de las modalidades de fondo exige un trabajo continuo, el cual mejora fundamentalmente el sistema de transporte de oxígeno o la tolerancia aeróbica.

Finalmente, para que la VC pueda ser considerada como un indicador de rendimiento, hace falta profundizar más en las condiciones de especificidad del desarrollo de las pruebas, y que éstas se realicen en ambientes que simulen las situaciones de competencia.

Bibliografía

1. Berthon, P., Fellmann, N. (2002, September). General review of maximal aerobic velocity measurement at laboratory. Proposition of a new simplified protocol for maximal aerobic velocity assessment. *J Sports Med Phys Fitness*, 42(3), 257-266.
2. Billat, V; Renoux, J; Pinoteau, J; Petit (2002). *Fisiología y Metodología del Entrenamiento*. Barcelona: Paidotribo.
3. Brickley, Doust, Williams (2002). Physiological responses during exercise to exhaustion at critical power, *European Journal of Applied Physiology*, 88, 146-151.
4. Bull, Housh, Go J., SR P. (2002). Effect of mathematical modeling on the estimation of critical power. *Med Sci Sports Exerc.*, 32, 526-530.
5. Di Prampero, P.E. (1999, July). The concept of critical velocity: a brief analysis. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 80(2), 162-164.
6. Maud P.J., Foster C. (2006). *Physiological assessment of human fitness (2nd ed.)*. Champaign, IL: Human Kinetics.
7. Monod H., Scherrer J. (1965). The work Capacity of synergy muscular groups. *Ergonomics*, 8, 329-38.
8. Moritani, T., Nagata, A., deVries, H.A., Muro M. (1981, May). Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. *Ergonomics*, 24(5), 339-350.
9. Pepper, M.L., Housh T.J., Johnson, G.O. (1992, February). The accuracy of the critical velocity test for predicting time to exhaustion during treadmill running, *Int. J. Sports Med.*, 13(2), 121-4.
10. Poole, D.C. (1986 December). Measurements of the anaerobic work capacity in a group of highly trained runners. *Med Sci Sports Exerc.*, 18(6), 703-705.
11. Powers, S.K., Howley, E.T. (2007). *Exercise physiology: theory and application to fitness and performance (6th ed.)*. Boston: McGraw-Hill.

Cibergrafía

12. Banco de la República de Colombia (2005, julio). Colombia BvRd. Ciudades capitales: Ayuda de tareas sobre geografía. Biblioteca Virtual.

13. Lopategui Corsino, E. (2000). Sistemas/métodos de entrenamiento deportivo [Versión electrónica]. San Juan de Puerto Rico: Universidad Interamericana de Puerto Rico.
14. Calvo F.A. (2005). Evaluación de VO₂máx. utilizando difernete metodología (trabajo de grado) [Versión electrónica]. Buenos Aires: Unversidad de San Martín.

Agradecimientos. *En primer lugar, quiero darle las gracias a Dios, por darme la vida y la posibilidad de llevar a cabo este trabajo investigativo. Por otro lado a Colciencias y al programa de Jóvenes Investigadores e Innovadores "Virginia Gutiérrez de Pineda", por facilitar el acercamiento de jóvenes profesionales con la investigación y la innovación mediante su vinculación con proyectos investigativos, que buscan el desarrollo de excelencia en las universidades; igualmente agradezco a la Escuela Militar de Cadetes José María Córdoba, por facilitarme las instalaciones y equipos del Laboratorio de Fisiología del Ejercicio del C.I.C.F.I; al Teniente Santiago Cortes, Decano Facultad de Educación Física Militar, Dra. Alba Liliana Pachón, Terapeuta respiratoria laboratorio de fisiología del ejercicio del C.I.C.F.I y Lic. Paula Janyyn Melo, coordinadora de investigación Facultad de Educación Física Militar, quienes me brindaron el acompañamiento durante la aplicación de las pruebas y el desarrollo del presente trabajo investigativo; al Instituto Distrital de Recreación y Deportes de Bogotá (IDRD), al Lic. Mauricio Ladino, entrenador de atletismo en las pruebas de mediofondo, al Lic. Humberto Ramírez, entrenador de atletismo en las pruebas de fondo y a sus deportistas, quienes conformaron el grupo muestra de este estudio; junto con los deportistas de la selección Cundinamarca; igualmente a la Dra. Liliana Garzón, asistente profesional vicerrectoría de investigación U.D.C.A, a la Lic. María Teresa Ríos Tobar, coordinadora del área de estadística del departamento de planeación U.D.C.A y al Lic. Rafael Ernesto Avella, docente investigador de la Facultad de Ciencias del Deporte U.D.C.A. Finalmente hago un extensivo agradecimiento a todas las personas que hicieron parte del proyecto, aquellos que estuvieron apoyándome para llevar a un feliz término este proceso investigativo.*