

Método para la determinación de la potencia efectiva para el salto vertical: Informe técnico

Alejandro Acuña-Espinoza¹, BEng; Luis F. Aragón-Vargas², Ph. D., FACSM

1. Escuela de Ingeniería Mecánica, Escuela de Ciencias del Movimiento Humano, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. E-mail: alejandro.acuna@amscr.com, www.amscr.com
2. Escuela de Ciencias del Movimiento Humano, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Email: LUIS.ARAGON@ucr.ac.cr

Introducción

La necesidad de evaluar la potencia que son capaces de generar los atletas en sus distintas disciplinas ha sido un tema de interés en la comunidad científica de las ciencias del deporte (Harries, 2012; Hori et al., 2009; Nagano et. al, 2008; Requena et al., 2012). Las pruebas predilectas y de mayor trascendencia por su practicidad han sido la prueba de Bosco (Bosco et al. 1993, 1982, 1981; Kirkendall, 1986) y la prueba de Wingate (Bar-Or, 1987; InBar, 1996; Sands et. al., 2004) y en menor medida la prueba de Margaria (Margaria et al., 1966).

Ninguna de estas pruebas se ha podido adoptar como un “estándar de oro” (Sands et. al., 2004); en lo particular, la prueba de Bosco (salto vertical) y la de Wingate (pedaleo en cicloergómetro) se ha demostrado que miden la potencia de forma muy distinta (Op. cit.). La prueba de Bosco, consiste en un protocolo que sigue un modelo matemático bastante simplificado, el cual asume que el cuerpo humano se comporta como una partícula, con una masa concentrada en un único punto y como particular obedece estrictamente las leyes ideales de conservación de la energía (Bosco C., 1981), sin que existan disipaciones de la misma. Tampoco toma en cuenta que tanto el primer salto que se efectúa durante la prueba, el salto con impulso contrario (SIC; Aragón-Vargas, 1996), como los restantes saltos (saltos con caída o SCC; Óp. cit.), no involucran exclusivamente movimientos traslacionales sino que además se generan movimientos de rotaciones, los cuales originan fuerzas que no se consideran dentro del esquema de un

movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (m.r.u.a.; Resnick, 2002), forma en la cual evalúa Bosco el salto vertical.

La medición de la potencia, y sobre todo la potencia explosiva ha sido una constante en el estudio del movimiento humano en las ciencias del deporte (Harries, 2012). Por los resultados obtenidos históricamente, consideramos que hasta la fecha no existe una prueba que verdaderamente pueda evaluar la *potencia promedio efectiva* en atletas y comparar de forma efectiva a los mismos (Kirkendall et al., 1986; Kyrolainen et al., 1995). Suponemos que la generación de potencia efectiva a lo largo de una prueba de medición de potencia, como se ha tomado como referente a la de Bosco, debería poder evidenciar las diferencias existentes en los atletas en concordancia con la especificidad deportiva. En otras palabras, la generación de potencia efectiva de un deportista que practique un deporte de moderada intensidad como la maratón debería de diferir de aquella de un atleta que practique un deporte esencialmente explosivo como el caso de los 100 m planos o de un atleta cuya disciplina demande que parte de la destreza técnica requerida en el mismo sea el salto vertical, como es el caso del baloncesto o el voleibol. Dichas diferencias no se reflejan en los resultados de potencia promedio obtenidos por los diferentes estudios que han utilizado como herramienta de medición de potencia esta prueba (Óp. cit.). También se ha investigado la generación de potencia en el salto vertical en atletas jóvenes y su relación con la edad de maduración sin encontrarse diferencias apreciables entre niños de 10 y 15 años (Viitasalo et al., 1987).

La presente investigación buscó desarrollar un novedoso método de cálculo para la potencia promedio durante saltos verticales repetidos que, lejos de ser un modelo de cálculo indirecto, busca evaluar más directamente la potencia efectiva a partir de la instantánea, utilizando registros obtenidos mediante una plataforma de fuerza.

Metodología

A. Definición de las variables

La principal variable de estudio fue la **potencia efectiva** (Pot_{eff}). La Pot_{eff} se define como aquella potencia que es utilizada efectivamente para realizar el **trabajo** (W) deseado, en este caso, el desplazamiento vertical o la altura obtenida una vez ejecutado el salto. La **potencia** es la tasa a la cual se efectúa el trabajo deseado, o en términos de física clásica, una medida del cambio en la velocidad (v) a la cual se efectúa el desplazamiento (d) de una masa (m), en este caso la del atleta, es decir:

$$Pot = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot d}{t} = \frac{m \cdot a \cdot d}{t} \quad Ec. (1)$$

En donde,

$$F = \sum_0^i (F_i - P.C.) \quad Ec. (2)$$

Es decir, la sumatoria de cada una de las fuerzas instantáneas (F_i) correspondientes al tiempo t_i menos el peso corporal ($P.C.$). La misma también puede ser entendida como la velocidad a la que se genera una fuerza:

$$Pot = F \cdot v = m \cdot a \cdot v = m \cdot \frac{\delta v}{\delta t} \cdot \frac{\delta x}{\delta t} = m \cdot \frac{\delta^2 x}{\delta t^2} \cdot \frac{\delta x}{\delta t} \quad Ec. (3)$$

La suma de las **potencias instantáneas** (Pot_i), es decir las que ocurren entre cada intervalo de tiempo [t_i, t_{i+1}], cuando se cumple que la **velocidad instantánea** $v_i > 0$ (siendo positiva la dirección del salto), corresponden a la potencia total de impulso utilizada para obtener la **altura máxima** de cada salto:

$$Pot_{total-impulso} = \sum_i^j F_i \cdot v_i \quad Ec. (4),$$

en donde j es el instante en el cual el atleta pierde el contacto con la superficie.

Utilizando la suma de los valores Pot_i de todos los saltos es posible obtener la **Potencia promedio** (\overline{Pot}), ya fuese de un intervalo específico de tiempo o mientras se ejecuta toda la prueba de Bosco, dividiendo la suma de las Pot_i entre la cantidad de Potis consideradas en el cálculo. La **Potencia pico** ($Pot_{pico-salto}$) corresponde, por salto, a la potencia máxima obtenida en la fase de impulso del salto, o fase positiva (para todo $v_i > 0$). La misma puede calcularse para toda la serie de saltos de una prueba de Bosco encontrando simplemente el valor máximo de potencia para todas las fases de impulso de todos los saltos (Pot_{pico}).

La fuerza instantánea vertical que se mide corresponde a la **Fuerza vertical de reacción de superficie** (F_z o F_y) la cual será equivalente en magnitud y opuesta en dirección, por la tercera ley de Newton (la ley de acción-reacción) a la fuerza instantánea vertical efectuada por el sujeto mientras efectúa el salto. Un **salto** válido se considera inicia al momento en que el atleta entra en contacto con la superficie ($t_{0@c/salto}$) es decir, a partir del momento en que $F_{GRF-vertical} \neq 0$ y hasta el instante ($t_{final@c/salto}$) en que regresa a '0'.

El salto debe tener tres características esenciales:

1. Existe un **pico impacto** ($F_{P.impacto}$), el cual corresponde al valor máximo $F_{GRF-vertical}$ obtenido durante la fase de impacto (toda la fase del salto en la cual para todo t_i , $v_i < 0$) en el instante **t_{impacto}**.
2. Existe un **pico impulso** ($F_{P.impulso}$), el cual corresponde al valor máximo $F_{GRF-vertical}$ obtenido durante la fase de impulso (toda la fase del salto en la cual para todo t_i , $v_i > 0$) en el instante **t_{impulso}**.
3. Se cumple que, cronológicamente $t_{0@c/salto} < t_{impacto} < t_{impulso} < t_{final@c/salto}$.

El tiempo que transcurre entre saltos es el **tiempo de vuelo** (t_{vuelo}) y se cumple que para todo t_i perteneciente a t_{vuelo} , $F_{GRF-vertical} = 0$.

Varios autores han demostrado que existe una diferencia apreciable en la altura del salto (desplazamiento vertical, proporcional al trabajo efectuado) obtenida, así como en el trabajo realizado, entre los saltos agachado (SA; Aragón-Vargas, 1996) con respecto a los SIC y/o los SCC (Aragón-Vargas, 1996; Bosco, 1981; Sáez-Sáez de Villarreal, 2009). En estos últimos los resultados son superiores a los del primer tipo de salto. Sostienen que el impulso contrario o la caída permiten “cargar” el sistema ósteomuscular lo cual contribuye a generar un impulso en el salto subsiguiente resultado del ciclo estiramiento-acortamiento (CEA; Aragón-Vargas, 1996). También se ha observado que en repeticiones con carga, es posible generar una mayor potencia utilizando el SIC frente al SA (Stone et al., 2003). Bajo este esquema, hemos decidido considerar este intervalo de “precarga”, conceptualizarlo y operacionalizarlo, definiéndolo como un sub-intervalo durante la fase de impacto que inicia en el instante t_i en el que ocurre una inflexión de la curva de aceleración instantánea (a_i , directamente proporcional en magnitud y dirección a la curva de $F_{GRF-vertical}$); dicho de otra forma, cuando la dirección de la a_i cambia de negativa a positiva: instante t_i en que el individuo que salta empieza a acelerarse en la dirección del salto. Finaliza cuando el valor de v_i alcanza un valor tal que $v_i > 0$, instante en el cual inicia la fase de impulso. Los valores instantáneos $F_{GRF-vertical}$ que pertenecen a este sub-intervalo se suman a los pertenecientes al intervalo de impulso de cada salto para obtener la **potencia efectiva total del salto**:

$$Pot_{total-salto} = Pot_{total-impulso} + \sum_i^j F_i \cdot v_i \quad Ec. (5),$$

en donde para todo t_i perteneciente a la fase de impacto, $a_{i-1} < a_i < a_{i+1}$, es decir, la curva de aceleración posee pendiente positiva, lo cual indica que va en aumento.

B. Participantes

Once hombres adultos (22.2 ± 3.2 años, 81.1 ± 11.9 kg, 184.8 ± 7.5 cm, $14.6 \pm 4.9\%$ grasa corporal) fueron voluntarios en este estudio. Tres de los sujetos pertenecían al equipo universitario de baloncesto de la Universidad de Costa Rica (25.7 ± 3.8 años, 89.6 ± 12.9 kg, 186.2 ± 9.8 cm, $25.7 \pm 3.8\%$ grasa corporal), 3 al equipo de natación (19.7 ± 2.1 años, 70.7 ± 9.1 kg, 177.8 ± 1.0 cm, $12.8 \pm 2.7\%$ grasa corporal) y 5 al equipo de voleibol de la misma institución (21.6 ± 1.3 años, 82.3 ± 9.7 kg, 188.1 ± 6.4 cm, $12.5 \pm 2.0\%$ grasa corporal). Se obtuvo el consentimiento informado de todos los participantes. El estudio cumple con las normas estipuladas por el Comité Ético Científico de la Universidad para la investigación en seres humanos. Los participantes no solamente debían ser deportistas que pertenecieran a un equipo universitario sino que además debían estar familiarizados con ejercicios de carácter pliométrico (Saéz-Saez de Villareal, 2009).

C. Protocolo

a. Procedimientos con la instrumentación

i. Configuración del equipo de registro de datos:

La determinación de las FGRF-vertical se efectuó mediante adquisición directa utilizando una plataforma de reacciones BertecTM (Modelo: 2812A1-3, USA; resolución: 0,000001 s; 0,000001 N; 0,000001 N·m; $\mu_{\text{exp}} = \pm 0,62$ N al 95,45% de confianza, $\mu_{\text{exp-excentricidad}} = \pm 9,60$ N al 95,45% de confianza) a una frecuencia de muestreo de 1000 Hz por un periodo de

60 s por repetición. La plataforma y demás dispositivos electrónicos asociados a la misma fueron encendidos 45 minutos antes de iniciada la prueba, tiempo de estabilización de la señal de lectura recomendado por LABCAL¹.

ii. Características de diseño del filtro para procesar los datos obtenidos:

Se utiliza el programa MatLab® 7.0 para crear un *filtro activo*² que permite diferenciar los datos de interés, que se encuentran en cada curva de FGRF-vertical. Es importante recordar que cada una de estas curvas está compuesta por el total de saltos realizados por cada participante en un lapso de 60 s; a manera de ejemplo, la Fig. 1 muestra una sección de la curva correspondiente a un único salto. Asimismo estas curvas contienen los datos que registra la plataforma cuando el participante se encuentra en el aire (≈ 0 N). El filtro se diseña exclusivamente para la manipulación de SIC y SCC, y analiza cada uno de los valores que forman parte de la curva de saltos (Fig. 2) utilizando condiciones lógicas para añadir o descartar valores hasta formar una nueva curva filtrada, que incluye exclusivamente los valores que se considera, conforman las fases de la curva que contribuyen efectivamente a realizar cada uno de los saltos (curva continua en Fig. 3).

¹ www.inii.ucr.ac.cr/labcal/

² El filtro activo utiliza condiciones operacionales lógicas que permiten aceptar o descartar datos de la señal de entrada al mismo

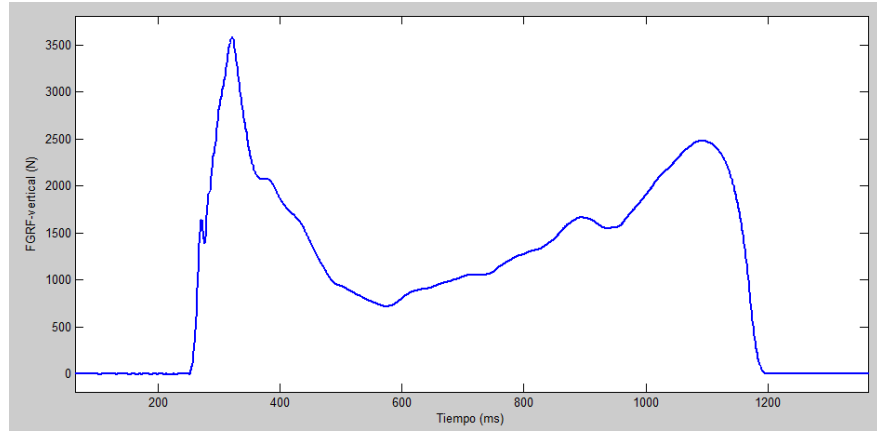


Figura 1. SCC individual-curva cruda

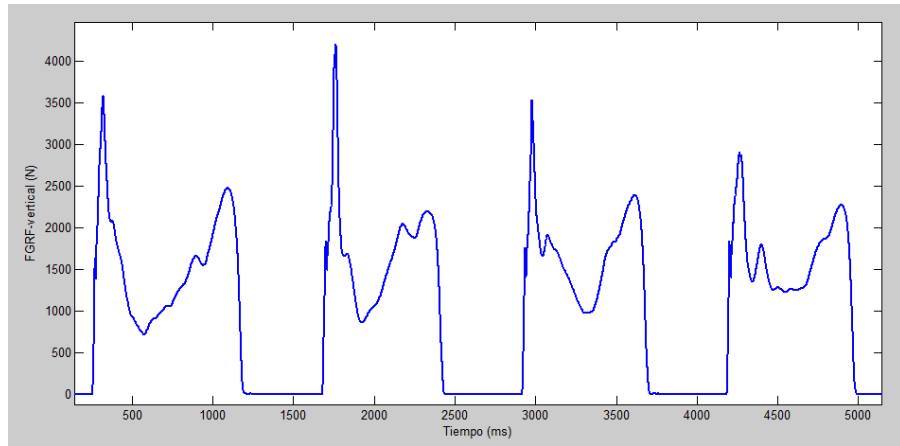


Figura 2. Sección curva SCCs-curva cruda

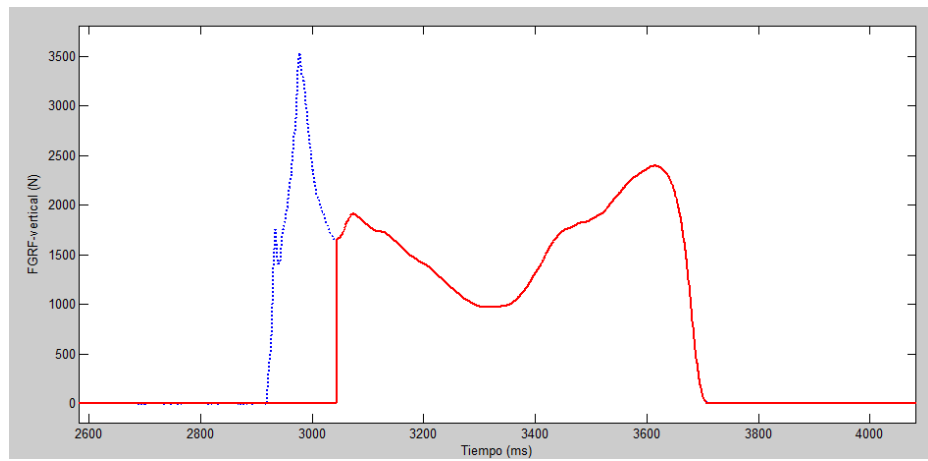


Figura 3. SCC individual filtrado-curva filtrada

El programa que procesa la curva cruda, además del filtro para tratar la curva de FGRF-vertical incluye otras funciones adicionales que permiten obtener la potencia promedio durante la prueba: utiliza el método de *integración trapezoidal* para obtener la curva de v_i a partir del componente a_i de la curva de FGRF-verticali (Ec. 3). Luego emplea la curva de FGRF-verticali y la multiplica vectorialmente por la curva de v_i para obtener una nueva curva de Poti.

Cuando el valor de FGRF-verticali en el instante t_i tome un valor de 0, ello indicará que el participante se encontraba en el aire o bien que el valor fue anulado mediante criterios utilizados para eliminar los valores descartables de la fase de impacto de cada salto. Evidentemente, al multiplicarse estos valores FGRF-vertical nulos por sus correspondientes valores en el tiempo t_i , pertenecientes al vector de v_i , el resultado final de Poti será '0'. De los nuevos valores que conforman la curva de Poti, obtenida a partir de la multiplicación de la curva de FGRF-vertical filtrada y de la curva de v_i obtenida mediante la integración de la curva de FGRF-vertical original, es posible obtener la \overline{Pot} . Adicionalmente el programa desarrollado, valiéndose de los valores FGRF-verticali =0 previos al filtrado, que descarta las fases de impacto, calcula el tiempo en el aire y cuenta la cantidad de saltos. Estos datos permiten comparar los resultados obtenidos para \overline{Pot} con los que se obtienen mediante el método de Bosco en una misma serie de saltos, el cual indica (Bosco, 1981):

$$\overline{Pot} = \frac{g^2 \cdot T_f \cdot 60}{4 \cdot n \cdot (60 - T_f)} \quad (Ec. 6)$$

en donde la gravedad (g), el tiempo en el aire (T_f) y la cantidad de saltos (n) son utilizados para encontrar la potencia promedio.

b. Procedimientos con los participantes

El día de la prueba los sujetos al llegar leyeron, discutieron y firmaron la fórmula de consentimiento informado. Asimismo llenaron la documentación requerida por el LACIMOV para determinar si eran aptos para efectuar las pruebas en el laboratorio. Uno de los sujetos perteneciente al equipo de natación no presentaba condiciones de salud favorables que lo validaran para efectuar la prueba, por lo cual fue descartado. Los restantes 11 sujetos efectuaron el protocolo. Se les preguntó su edad, se midió su altura (estadiómetro), peso (plataforma de reacciones, Marca: BertecTM, Modelo: 2812A1-3) y porcentaje de grasa (analizador de composición corporal, Marca: TANITA, Modelo: BF-350). La sesión de cada sujeto fue individualizada. Los mismos efectuaron un calentamiento corto de 15 minutos, pedaleando libremente en un cicloergómetro. Luego se les dio un plazo de 5 minutos para efectuar un estiramiento. Se les indicó que debían estirar de forma integral, debido a la demanda del salto vertical: un ejercicio que recluta la mayoría de los grupos musculares. Una vez finalizado el estiramiento procedieron a efectuar la prueba de Bosco. Primero, se efectuó una medición del peso corporal sobre la plataforma de fuerza. Los participantes se colocaron sobre la plataforma adoptando la posición anatómica fundamental por un tiempo de 15 segundos. Después de ejecutada esta medición, debieron salir de la plataforma de reacciones y permanecer fuera de esta por un periodo de 45 segundos. Regresaron a la plataforma dispuestos a ejecutar la prueba de Bosco sobre la misma. Para ello, ubicaron sus dos pies sobre la plataforma e

iniciaron los saltos desde una posición preestablecida, que les fuera cómoda y natural, tanto en la abertura de sus pies como en la posición de su cintura. Se les indicó que su espalda debía permanecer erguida durante todo el salto y sus manos ubicadas a ambos lados de su cuerpo colocadas en la cintura (brazos en jarras). Se les previno para que durante los movimientos de salto no se balanceasen abruptamente con las manos o efectuaran aterrizajes con un solo pie. Se les indicó la técnica que se consideraría correcta para efectuar los saltos una vez se diera la indicación de inicio de la prueba: esta empieza en una posición alta, es decir con las rodillas totalmente extendidas, la espalda recta y las manos en la cintura. El sujeto se agacha para tomar impulso y salta, procurando flexionar sus rodillas de forma tal que el ángulo entre la pierna y el muslo sea de 90 grados. Asimismo el detalle de la ejecución de la prueba de Bosco (Bosco, Luhtanen & Komi 1983): El individuo debe procurar aterrizar en una posición baja y realizar el mayor número de saltos posibles durante un periodo de 60 segundos al máximo esfuerzo posible, es decir procurando saltar lo más alto que este pueda. A los sujetos se les indicó previo al día de la prueba que era requerido que utilizaran zapatos deportivos, sin permitirse que los mismos tuvieran suela de aire o resortes. Se registró FGRF-vertical para el total de prueba. Los datos crudos se exportaron al programa MatLab® 7.0 para proceder con la manipulación de la curva de FGRF-vertical.

Análisis estadístico

Se comparan los resultados de potencia promedio obtenidos por el método de cálculo directo contra los obtenidos a través del método de Bosco utilizando un ANOVA de 1 vía

para medidas repetidas. Luego se correlacionan los resultados de la prueba de Bosco y los resultados por el método de cálculo directo.

Resultados

A. Desempeño del filtro

No se logra obtener un resultado óptimo en el diseño del filtro. Existen saltos omitidos por el filtro y/o procesados incorrectamente por el mismo. El porcentaje de saltos mal procesados por sujeto se incrementa hasta en un 40% en el caso más crítico. Es importante recordar que, se determina que un salto de la serie de saltos que conforman la prueba ha sido correctamente procesado por el filtro, cuando exclusivamente la secciones del salto correspondiente a la fase de impulso (para todo t_i tal que $v_i > 0$) y a la sub-fase de precarga forman parte de la nueva curva de la serie de saltos filtrados (Fig. 3). Si se verifica visualmente que parte de la sección de impacto del salto ($F_{GRF-vertical}(t_i)$ tal que $v_i < 0$ y $a_{i-1} > a_i > a_{i+1}$, Fig. 4.a) o el salto completo (Fig. 4.b) continúan formando parte de la nueva curva filtrada, o si por el contrario se omitió parte de la sección de impulso del salto (Fig. 4.c) o un salto completo (Fig. 4.d), el mismo se considera como un salto incorrectamente procesado por el filtro. Los resultados se evalúan individualmente (Tabla 1.). En promedio $83.43 \pm 11.26\%$ de los saltos fueron correctamente procesados en las pruebas de Bosco efectuadas por los participantes.

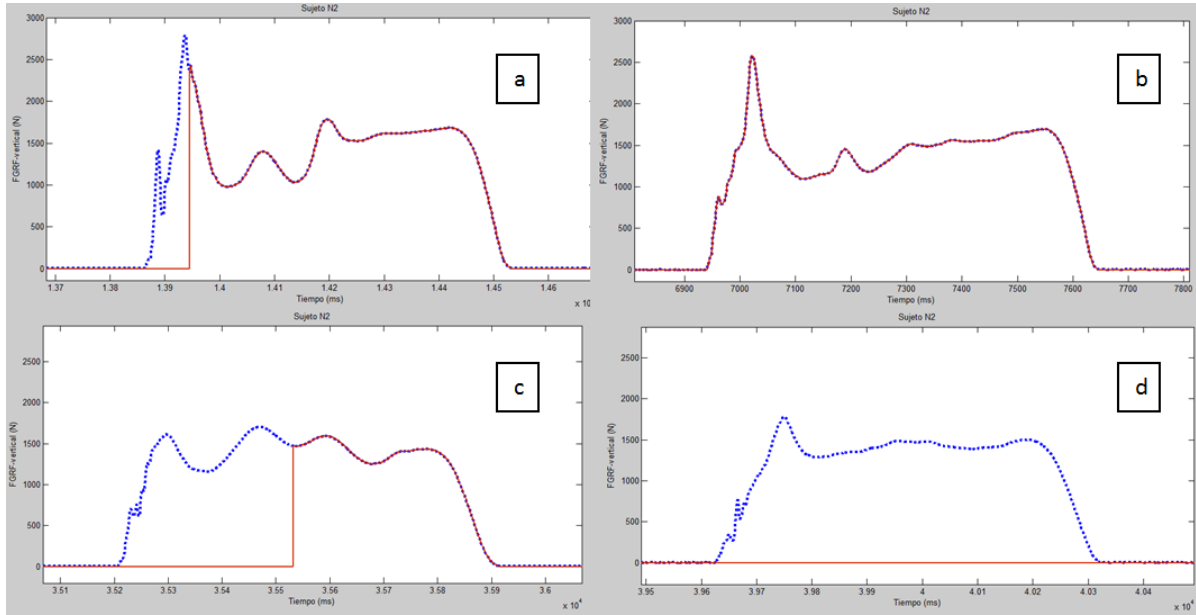


Figura 4. Irregularidades durante el filtrado de SCC individuales: Las curvas corresponden a diferentes circunstancias en las cuales se generan errores en el filtrado de la curva cruda de FGRF-vertical (punteada) para obtener la curva filtrada (línea continua)

B. Potencias calculadas para los participantes

El ANOVA de 1 vía para medidas repetidas indicó que no existen diferencias significativas entre utilizar el método de Bosco y el método de cálculo directo ($F: 0.0012$, $p > 0.05$). La correlación entre los resultados de la prueba de Bosco y los resultados por el método de cálculo directo es positiva y baja ($r=0.2$, Fig. 6). Las curvas filtradas fueron utilizadas para obtener potencias promedio efectivas que rondaron los 1.6 ± 4.6 kW (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados generales: Para cada participante de los tres deportes evaluados, baloncesto (B), natación (N) y voleibol (V) se obtiene la Potpromedio efectiva (W) obtenida por el método propuesto, así como las Potpromedio efectiva en función del P.C. De los saltos efectuados (columna 5) se contabilizan los procesados incorrectamente por el método propuesto

Participante	Pot prom (Watts: W)	Pot prom· P.C. ⁻¹ (W·kg ⁻¹)	Pot prom _{Bosco} · P.C. ⁻¹ (W·kg ⁻¹)	# saltos efectuados	#saltos procesados incorrectamente	% saltos correctamente procesados
B1	2074.10	19.88	14.48	46	0	100.00
B2	1709.90	16.39	18.47	59	4	93.22
B3	1965.80	18.85	10.65	53	11	79.25
N1	879.50	8.43	14.41	50	7	86.00
N2	1572.20	15.07	12.52	56	17	69.64
N3	984.61	9.44	12.21	45	18	60.00
N4	-	-	-	-	-	-
V1	1897.20	18.19	15.62	44	5	88.64
V2	1810.40	17.36	15.01	47	7	85.11
V3	2073.10	19.87	19.07	49	6	87.76
V4	1310.50	12.56	19.16	49	11	77.55
V5	1010.30	9.69	13.58	32	3	90.63
Promedio General	1571.60	15.07	15.02	48.18	8.09	83.43
±D.E.	452.59	4.34	2.86	7.08	5.65	11.26
Prom. Baloncesto	1916.60	18.37	14.53	52.67	5.00	90.82
±D.E.	187.02	1.79	3.91	6.51	5.57	10.58
Prom. Natación	1145.44	10.98	13.05	50.33	14.00	71.88
±D.E.	373.31	3.58	1.19	5.51	6.08	13.14
Prom. Voleibol	1620.30	15.53	16.49	44.20	6.40	85.93
±D.E.	443.26	4.25	2.51	7.12	2.97	5.09

La Figura 6 muestra los resultados para la Potencia efectiva promedio en función del peso corporal, obtenidos para toda la muestra, seguidos de los resultados obtenidos mediante el método de cálculo de Bosco (Ec. 6). También se muestran gráficamente los resultados por grupo de deporte a manera de referencia.

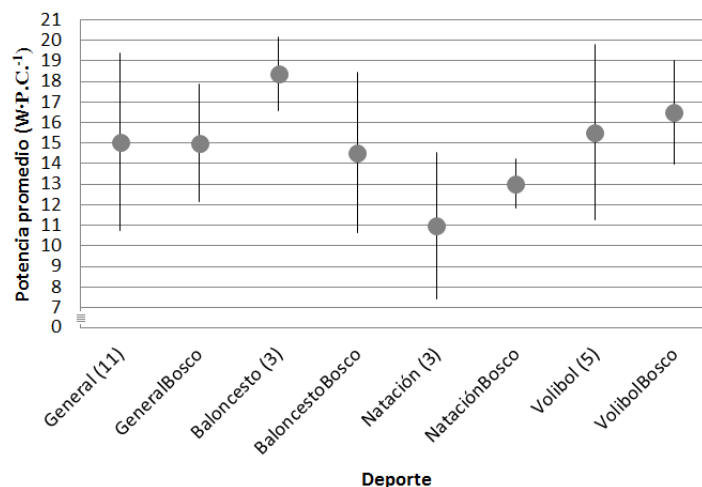


Figura 6. Potencias promedio: El gráfico muestra el resultado de potencia promedio para toda la muestra, así como los resultados por deporte, utilizando el método de cálculo directo y también el método de Bosco. En número entre paréntesis indica la cantidad de sujetos empleados por grupo de deporte.

Discusión

Los errores en el filtrado de algunos de los datos de potencias instantáneas para obtener curvas que incluyeran exclusivamente valores correspondientes a la fase de impulso del salto ($v_i > 0$) y a la sub-fase de precarga, no permiten concluir que el método sugerido no exhiba diferencias significativas respecto del método de Bosco. Las potencias promedio obtenidas a partir del método evaluado, son consistentes en razón de magnitud con las encontradas por otros estudios (Bosco, 1983; Kinkerdall et al., 1986; Naruhiro et al., 2009; Sands et al., 2004; Viitasalo, 1987). Las diferencias entre deportistas pertenecientes a deportes de moderada intensidad y deportes de carácter explosivo no se reflejan en las potencias obtenidas mediante el método de Bosco en los estudios que las comparan (Kyrolainen et al., 1995). Los estudios clásicos de Bosco y otros investigadores que apoyan su metodología obtienen datos que no reflejan diferencias en grupos de deportes que técnicamente y en el aspecto de exigencia física son muy distintos (Kirkendall et al., 1986; Kyrolainen et al., 1995; Viitasalo et al., 1987), no obstante la prueba de Bosco ha sido

de uso regular en el ámbito deportivo a lo largo del tiempo (Benelli et al., 1996; Dona et al., 2006; Gallozi et al., 1992; Kums et al. 2005; Petrone et al., 2006; Skurvydas et al., 2000; Tsitskaris et al., 2003). Se han propuesto sistemas de cálculo indirecto de potencia (Cormie et al. 2009, Liu et al., 2009, Nagano et al., 2005, 1998; Requena et al., 2012) y de entrenamiento físico (Stone et al., 2003), involucrando al SIC y al SCC, que han utilizado modelos en menor o mayor medida complejos, no obstante continúan siendo simplificaciones a la realidad integral del salto: un ejercicio que recluta grupos musculares de todo el cuerpo y los coacciona en un movimiento conjunto. Es posible que el método de cálculo directo, a partir de la curva de $FGRF_{vertical}$ deba limitarse a incluir exclusivamente la fase de impulso del salto, y deba descartarse la sub-fase de precarga, pues estrictamente, al no existir desplazamiento no existirá trabajo, es decir, de acuerdo con la Ec. (1), existirá potencia generada en la dirección del movimiento cuando $v_i > 0$. Se insta a la investigación que busque establecer métodos de cálculo directo que permitan evaluar la aplicabilidad de este tipo de pruebas de campo, ya que la finalidad de la pruebas que se ocupan de medir no sólo la potencia que es capaz de generar un atleta sino las características de dicha potencia, deben responder a esa especificidad deportiva que surge del trabajo técnico y físico inherente a cada práctica deportiva: resultado directo del trabajo, acondicionamiento y capacidad del atleta en su disciplina.

Referencias

1. Aragón-Vargas, L.F. "Papel de la elasticidad del tendón en la potencia muscular". Tercer Simposio en Ciencias del Ejercicio y la Salud. Escuela de Educación Física y Deportes, Universidad de Costa Rica, Octubre 1996
Disponible en <http://kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/752>
2. Aragon Vargas, L. "Mechanical power methods in the study of vertical jumping". Kin 500: Seminar in Biomechanics. Departamento de Ciencias del Movimiento, División de Kinesiología, Universidad de Michigan. 1993.

3. Bar-Or, O. (1987). The Wingate anaerobic test: An update on methodology, reliability, and validity. *Journal of Sports Medicine*, 4, 381-94
4. Benelli, P.; Ditroilo, M.; Venerandi, R.; Ninfali, P.; Checchi, M. & Schiavini, E. E. (1996). Utilizzo di un goniometro elettronico durante l'esecuzione del test di Bosco. *Medicina dello Sport*, 49(3), 347-351.
5. Bosco, C.; Luhtanen, P. & Komi, P. (1983). A Simple Method for Measurement of Mechanical Power in Jumping. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology Research and Development*, 50, Págs. 273-82.
6. Bosco, C. (1981). New tests for the measurement of anaerobic capacity in jumping and leg extensor muscle elasticity. *IVBF Volleyball Magazine*. 1, Págs. 22-30.
7. Cormie, P.; McBride, JM; McCaulley GO. (2009). Power-time, force-time and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: impact of training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 177-86
8. Dona, G.; Zorzi, E.; Petrone, N.; Sawacha, Z. & Cobelli, C. "Biomechanical analysis of three different blocking footwork techniques in volleyball: a pilot study". International Society of Biomechanics in Sports, Proceedings of XXIV International Symposium on Biomechanics in Sports, University of Salzburg, 2006
9. Gallozzi, C.; Amodio, F.; Colli, R.; Mirri, G. (1998). Aspetti fisiologici del tennis maschile. *Scuola Informa*, 26, 3-32
10. Harries, L.; Lubans D.R. & Callister, R. (2012). Resistance training to improve power and sports performance in adolescent athletes: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15(6), 532-40.
11. Hori, N.; Newton R.; Kawamori, N.; McGuigan, M.; Kraemer, W. & Nosaka, K. (2009). Reliability of Performance Measurements derived from GRF data during countermovement jump and the influence of sampling frequency. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(3), 874-882
12. InBar, O.; Bar-Or, O.; Skinner, J.S. (1996). The Wingate Anaerobic Test. *Human Kinetics*
13. Kirkendall, D.T. & Street G.M. (1986). Mechanical Jumping Power in Athletes. *British Journal Sports Medicine*, 20(4), 163-164
14. Kums, T., Ereline, J., Gapeyeva, H., & Paasuke, M. (2005). Vertical jumping performance in young rhythmic gymnasts. *Biology of Sport*, 22(3), 237-246.
15. Kyrolainen, H. & Komi P.V. (1995). Differences in mechanical efficiency between power and endurance-trained athletes while jumping. *European Journal of Applied Physiology*. 70, 36-44
16. Liu, Yu; Shih, Shi-Min; Tian; Shi-Liu; Zhong, Y.J. & Liu, L. (2009). *Journal of Biomechanics*. 42, 906-911
17. Margaria, R.; Aghemo, P. & Rovelli, E. (1966). Measurement of muscular power (anaerobic) in man. *Journal of Applied Physiology*, 21, 1662-64

18. Nagano, A.; Komura, T.; Fukashiro, S. & Himeno, R. (2005). Force, work and power output of lower limb muscles during human maximal-effort countermovement jump. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 15(4), 367-76
19. Nagano, A.; Ishige Y. & Fukashiro, S. (1998). Comparison of new approaches to estimate mechanical output of individual joints in vertical jumps. *Journal of Biomechanics*, 31, 951-55
20. Petrone, N.; Marcolin, G. & Tolin, A. "Evaluation of sprint biomechanics by means of an instrumented training sledge in soccer". International Society of Biomechanics in Sports, Proceedings of XXIV International Symposium on Biomechanics in Sports, University of Salzburg, 2006.
21. Requena, B.; Requena, F.; García, I.; Saez-Saez de Villarreal, E. & Paasuke, M. (2012). Reliability and validity of a wireless microelectromechanicals based system (Keimove™) for measuring vertical jumping performance. *Journal of Sports Science and Medicine*, 11, 115-122.
22. Resnick R. (2002). *Physics*. 5th edition. USA: John Wiley & Sons Inc.
23. Saéz-Sáez de Villarreal, E.; Requena, B. & Newton, R. (2009). Determining Variables of Plyometric Training for Improving Vertical Jump Height Performance: A Meta-Analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), 495-506.
24. Sands, W.; McNeal, J.; Ochi, M.T.; Urbanek, T.L.; Jemni, M. & Stone M. (2004). Comparison of the Wingate and Bosco Anaerobic Tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(4), 810-815.
25. Skurvydas, A.; Mamkus, G. (2000). Muscle fatigue and post-tetanic potentiation in boys and adult men when performing jumping exercises of maximal intensity. *Acta Kinesiologiae Universitatis Tartuensis*, 5, 162-173 12
26. Stone, M.; O'Bryant, H.; McCoy, L.; Coglianese, R.; Lehmkuhl, M. & Schilling, B. (2003). Power and Maximum Strength Relationships During Performance of Dynamic and Static Weighted Jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(1), 140-47.
27. Tsitskaris, G. (2003). The effects of a preseason conditioning program in the pool on basketball players. *TVS Telesna Vychova & Sport*, 13(1), 27-30.
28. Viitasalo, J.T.; Osterback L; Alen, M. & Rahkila, P. (1987). Mechanical Jumping power in young athletes. *Acta Physiol Scand*, 131, 139-45