

---

**AUTORES:** García-López, J.; González Lázaro, J.; Rodríguez, J.A.; Morante, J.C.; Villa, J.G.

**TÍTULO:** “Validación y aplicación de un nuevo sistema de fotocélulas: DSD Láser System”.

**ACTO:** Cinquè congrés de ciències de l’esport, l’educació física i la recreació de l’INEFC-Lleida

**REF. LIBRO:** En “Llibre de les actes del cinquè congrés de ciències de l’esport, l’educació física i la recreació de l’INEFC-Lleida”. Ed. INEF de Catalunya, Centre de Lleida. Págs. 583-595. ISBN: 84-393-5852-0. 2002.

**LUGAR/AÑO:** Llérida, 2002

---

# VALIDACIÓN Y APLICACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA DE FOTOCÉLULAS: “DSD LASER SYSTEM”

Juan García-López; Javier González Lázaro; José Antonio Rodríguez Marroyo; Juan  
Carlos Morante Rábago; José Gerardo Villa Vicente

**FCAFD de la Universidad de León.**

**Palabras clave:** biomecánica, carrera de velocidad, fotocélulas, DSD Laser System.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de fotocélulas han sido ampliamente utilizados para medir la velocidad en diferentes actividades deportivas: golf, fútbol, triple salto, salto de longitud, etc. (Richards y cols., 1985; Villa y cols., 1999; Hay, 1992). Estos sistemas constan de unos emisores de luz infrarroja o láser que se proyectan sobre unos receptores fotosensibles al tipo de luz utilizada; los receptores pueden colocarse en la misma unidad (siendo la luz devuelta por un reflectante) o enfrentados (separados respecto al emisor). Algunos autores han clasificado los tipos de fotocélulas en “láser” y “reflex”, en función de los criterios expresados (Brizuela, 1996).

La velocidad media se obtiene a partir de la distancia de separación entre dos parejas emisor-receptor y el tiempo cronometrado por el sistema. Para medir este tiempo se utiliza un cronómetro que se activa sucesivamente en el momento que se interrumpe la llegada de luz a los receptores. Esta señal puede ser transmitida a la unidad central de cronometraje bien por medio de cableado o bien mediante un sistema telemétrico. La mayoría de los sistemas utilizan la transmisión por cable (Luthanen, 1984; AFR, 2002).

No existe ningún tipo de error al medir la velocidad con fotocélulas si se trata de un sólido rígido, como es el caso de las pelotas de golf, bolas de peso, etc., pero sí cuando se trata de un sistema articulado, como es el hombre en movimiento. Si un sujeto interrumpe el haz con el brazo y el siguiente con el torso, se puede introducir un error considerable, ya que el torso puede colocarse 20-30cm detrás del brazo, y en el siguiente par de fotocélulas esta situación puede variar. La solución adoptada por algunos autores ha sido diseñar fotocélulas de doble haz, uno colocado a la altura de la cadera y el otro 20cm por encima, cronometrando a partir de la interrupción de ambos haces, y afirmando que este sistema es más válido cuando se compara con un sistema de fotogrametría 3D (Yeadon y cols., 1999).

Aunque las fotocélulas se utilizan para estimar la velocidad de carrera (Villa y cols., 1999; Ferro y cols., 1996), existe poca información sobre la validación del propio sistema de cronometraje, así como de que la velocidad media obtenida por fotocélulas sea representativa de la velocidad media del centro de gravedad (VCG). En este sentido, las principales críticas a los sistemas de fotocélulas aluden a que en algunas condiciones, como pudiera ser la carrera de aceleración, no sirven para estimar la VCG (Yeadon y cols., 1999), así como que utilizan frecuencias de muestreo muy bajas (< 100Hz), insuficientes para analizar algunos gestos deportivos (Viitasalo y cols., 1997).

En el Laboratorio de Biomecánica de la FCAFD de la Universidad de León, en colaboración con la empresa Desarrollo de Software Deportivo (DSD, 2001) se ha diseñado un sistema de fotocélulas láser de doble haz que emiten la información teleméricamente a un ordenador. El primer objetivo de este trabajo es validar el sistema de cronometraje (emisor, receptor, transmisión de la señal, cronómetro, etc) para una precisión de 500Hz. El segundo objetivo es comprobar si la velocidad media obtenida por el sistema de doble haz (VDH) es representativa de la VCG durante una carrera de aceleración.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

### **Sujetos**

Un atleta varón (1,76m, 70,6Kg y 21 años), sano y en buena forma física (competidor de 400m lisos a nivel nacional) participó en el estudio. Los objetivos del trabajo y el procedimiento experimental fueron explicados a su entrenador y a él mismo, dando su consentimiento por escrito.

### **Material**

La distancia entre pares de fotocélulas y la altura del emisor-receptor se midió con 2 cintas métricas de 10 y 25 m de fibra de vidrio (Kangros<sup>®</sup>), calibradas con una precisión de 1 cm comprobada con una cinta metálica inextensible Holtain LTD<sup>®</sup> de 1 m. y precisión de 1 mm.

El tiempo transcurrido entre los cortes de las fotocélulas fue medido con el DSD Laser System (DSD, 2001), capaz de transmitir los datos vía radio con un alcance de 200m y una frecuencia > 400MHz. Este sistema consta de un software (SportSpeed-v2.0) y tres módulos de dimensiones 140x80x35mm y alimentados por 4 pilas de 1,5V cada uno: a-módulo emisor de luz láser con una longitud de onda de 650nm y potencia <4,5mW; b-módulo receptor láser con una óptica de 20mm, filtro de 650nm, indicador

de alineación del haz láser (led rojo frontal) e indicador de corte de barrera (led rojo superior); c-módulo central con conexión de salida para PC e indicador de corte de barrera (led rojo superior). Un esquema del DSD Laser System se ilustra en la figura 1.

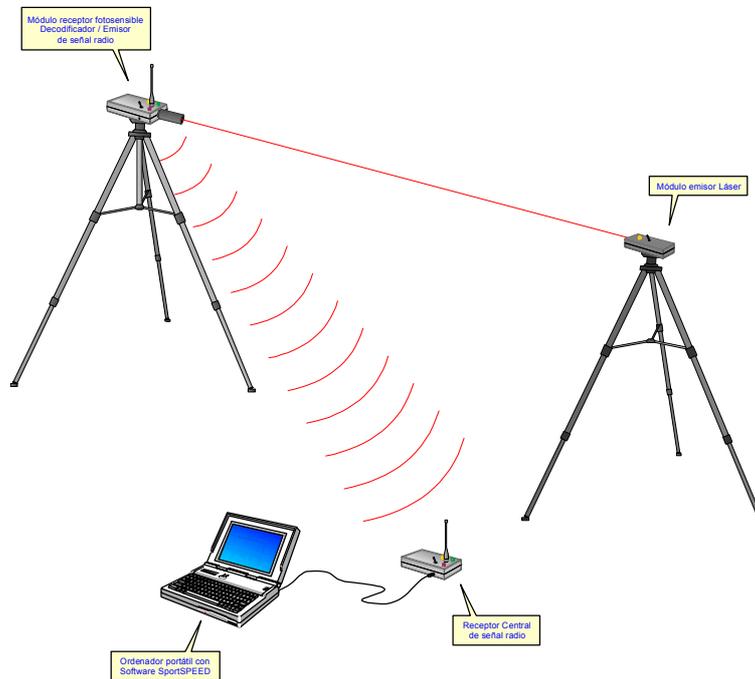


Figura-1.-Esquema del DSD Laser System: módulo receptor, módulo emisor, módulo central y ordenador portátil con el software SportSpeed-v2.0.

El software SportSpeed-v2.0, compatible con el entorno Windows, está programado en Borland Delphi 2.0. Para evitar las interferencias del sistema y garantizar su precisión utiliza un controlador de tiempo DSDcrt.dll de 1000Hz. Los requerimientos mínimos del PC son: instalación de Windows 95, procesador 486/66 MHz, 16MB de memoria RAM, 5MB de disco duro y puerto serie. El software SportSpeed-v2.0 posee una aplicación para medición y registro de los resultados, y otra para el análisis de los resultados (figura 2).



Figura-2.-Pantalla de inicio (izquierda), medición y registro (centro) y análisis de los resultados (derecha) del software SportSpeed-v2.0.

Las filmaciones de la carrera de velocidad se llevaron a cabo mediante 3 cámaras Panasonic MS1® (precisión de 0,02s ó 50Hz) y fueron visualizadas para su posterior

captura con 1 magnetoscopio Panasonic AG-7350. El sistema de referencia utilizado para calibrar el tramo de carrera fue de 6x2x2m.

El análisis 3D de la carrera se llevó a cabo mediante el software informático Kinescan-2001® (IBV, 2002).

1 sistema digital de filmación de alta velocidad Kodak Motion Corder SR-500-C® (precisión de 0,002s o 500Hz): minicámara y una unidad central para digitalizar imágenes que se conecta a un monitor Panasonic BT-D2020-PY® de 21 pulgadas.

1 ordenador portátil HP OmniBook XE3® (procesador pentium III, sistema Windows 98 y puerto serie).

## **Metodología**

### Procedimiento experimental para la validación del sistema de cronometraje.

En condiciones de laboratorio se filmaron, utilizando el sistema digital de alta velocidad, los dos leds de los receptores de una pareja de fotocélulas (figura 3). Un segundo experimentador interrumpía dos veces los dos haces de luz (esta maniobra se realizaba aleatoriamente interrumpiendo primero el haz superior o inferior). El número total de ensayos realizados fue de 10 (n=10).



*Figura-3.-Protocolo de validación del DSD Laser System en condiciones de laboratorio*

El tiempo transcurrido entre las dos maniobras se registró en el software SportSpeed-v2.0 (TSS), puesto que el receptor telemétrico se conectó a un ordenador portátil donde estaba instalado este programa.

El tiempo transcurrido también se midió a partir de las imágenes de la cámara de alta velocidad (TAV); se anotó el primer tiempo en el que los dos leds de las fotocélulas

estaban iluminados (T1) y tras apagarse ambos, el segundo tiempo en el que volvían a iluminarse (T2). Se ha considerado TAV como la resta de ambos tiempos (T2-T1).

#### Procedimiento experimental para la comparación de la VDH y VCG.

En una pista de atletismo se colocaron unos tacos de salida detrás de la línea de inicio de la prueba de 100m. El corredor ajustó la distancia entre los tacos y su inclinación a su gusto, permaneciendo invariable a lo largo de todas las mediciones. La posición de salida era la exigida por el reglamento de atletismo, colocando las manos detrás de la línea de salida y permaneciendo inmóvil desde la señal de “listos” hasta la señal de “ya”. Se pidió al sujeto que realizara un total de 12 carreras máximas (n=12) hasta sobrepasar la última pareja de fotocélulas, con una recuperación de 3min.

Las parejas de fotocélulas (emisor-receptor) se colocaron a una distancia de 5 y 10m respecto a la línea de salida, cronometrándose el tiempo empleado en recorrer dicha distancia (5m) mediante el DSD Laser System de doble haz (DSD, 2001). Las fotocélulas más bajas se ajustaron a la altura de la cadera, y las más altas 0.20m más arriba, similar procedimiento al utilizado por otros autores (Yeadon y cols., 1999).

Para calcular la VCG entre los 5 y 10m se colocó un sistema de referencia que abarcó desde la distancia de 4,5m a la distancia de 10,5m, con el objeto de que ningún punto anatómico del velocista estuviera fuera del mismo a la hora de la digitalización. Se filmaron todas las carreras mediante 3 cámaras sincronizadas con un evento luminoso y colocadas perpendicularmente entre sí (90°) en los planos sagital (X-Z), a 15m del plano de filmación; frontal anterior, a 10m del plano desde el último par de fotocélulas; y frontal posterior (Y-Z), a 10m del primer par de fotocélulas. Se utilizaron 3 cámaras con el objetivo de que al digitalizar resultaran visibles todos los puntos anatómicos al menos en 2 de ellas. En la figura 4 se muestra una imagen del corredor en los tres planos analizados.

Las imágenes correspondientes a cada una de las cámaras fueron importadas en formato digital y analizadas con el software Kinescan-2001®: Se definió el sistema de referencia (6x2x2) y se digitalizó desde las 3 cámaras. Posteriormente se programó el modelo de Centro de Gravedad (CG) del corredor a partir de los parámetros inerciales de Zatsiorsky y Seluyanov (Gutiérrez, 1999). A continuación se sincronizaron las 3 películas correspondientes a un mismo sprint y se digitalizaron todos los fotogramas desde el apoyo anterior al primer par de fotocélulas (5m) y el posterior al último par (10m), para ello se escogió la visión del plano sagital. En cada uno de los fotogramas seleccionados debieron digitalizarse un total de 21 puntos anatómicos del corredor, en

consonancia con el modelo de Zatsiorsky y Seluyanov. Finalmente se exportaron a una hoja de cálculo las posiciones (en el eje X o dirección del movimiento) del CG del velocista, habiéndose corregido automáticamente las coordenadas mediante el procedimiento de transformación lineal directa ó DLT.

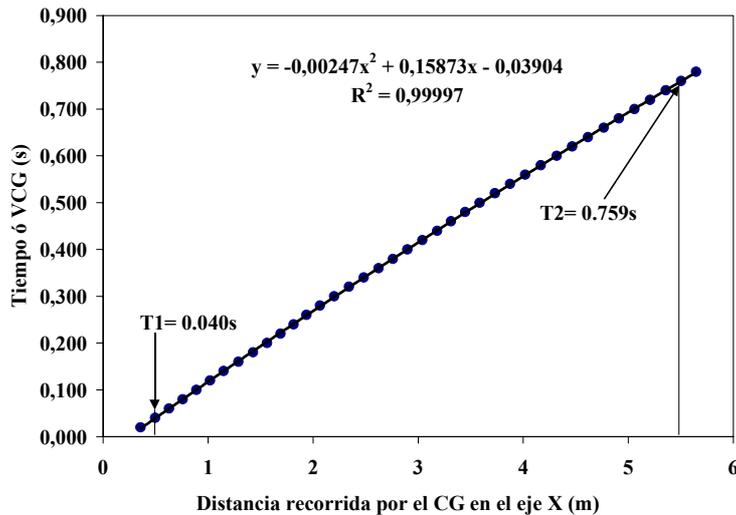


*Figura-4.-Imágenes de un mismo sprint de 10m filmadas desde los planos sagital (arriba izquierda), frontal anterior (arriba derecha) y frontal posterior (abajo izquierda).*

#### **Tratamiento de los resultados.**

El tiempo empleado por el CG en recorrer la distancia de 5m ha sido considerado como VCG, ya que la velocidad es una variable derivada; el mismo procedimiento se ha utilizado para el tiempo cronometrado con el DSD Laser System de doble haz (VDH). VCG se calculó a partir de una función polinómica tiempo(y)-espacio(x) de segundo orden, con un valor de ajuste de  $R^2 > 0,999$ , en la que se sustituyó el valor “x” por 0,5 y 5,5m., calculando así T1 y T2, obteniéndose VCG como la resta de ambos (T2-T1). Un ejemplo puede observarse en la gráfica 1.

Para comprobar el error intraobservador del digitalizador, se repitió el análisis del sprint número 6. Se exportaron las coordenadas en el eje X de los puntos anatómicos de la cadera, supraexternal y vertex, así como del segmento tronco y del centro de gravedad. La correlación entre las coordenadas del primer y segundo análisis fue de  $R^2 > 0,9999$ , no encontrando diferencias significativas entre ambos. VCG del primer análisis fue 0,719s, igual que el obtenido en el segundo análisis.



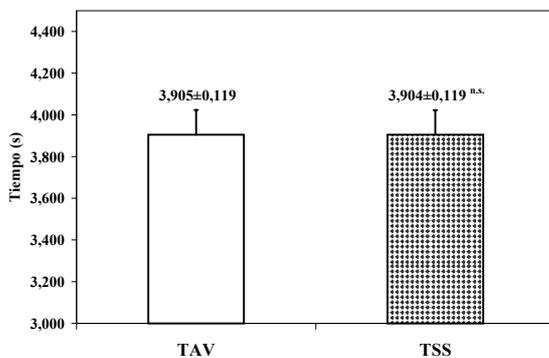
Gráfica-1.-Metodología utilizada para calcular el tiempo empleado por el centro de gravedad en recorrer los 5m analizados (VCG).

Para el tratamiento gráfico y estadístico se han utilizado la Hoja de Cálculo Excel-v7.0 y el programa estadístico Statistica-v4.5 para Windows. Los resultados se muestran como valores medios y error estándar de la media (E.E.M.). La significación estadística de las diferencias para todas las variables estudiadas se calcula mediante la prueba no paramétrica de Wilcoxon para datos apareados. Las correlaciones entre variables se obtienen mediante la prueba no paramétrica de Spearman y se presentan con el valor  $R^2$ . Los niveles de significación “p” son: \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ ; \*\*\* =  $p < 0,001$ .

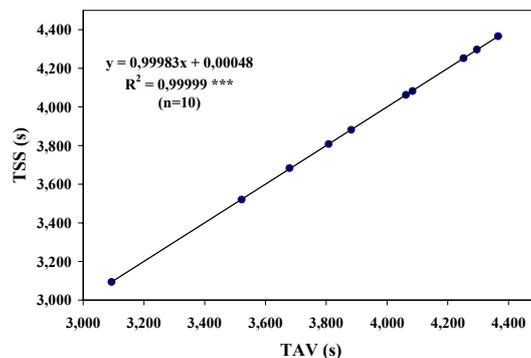
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Validación del sistema de cronometraje.

En la gráfica 2 se aprecia que no existen diferencias significativas (n.s. ó  $p > 0,05$ ) entre los tiempos registrados en el software SportSpeed-v2.0 (TSS) y en el sistema de alta velocidad de 500Hz (TAV). En la gráfica 3 se observa que la relación entre ambos alcanza un valor de  $R^2 = 0,99999$  ( $p < 0,001$ ) para un rango de tiempos de 3,094s a 4,366s.



Gráfica-3.-Diferencias entre TAV y TSS.



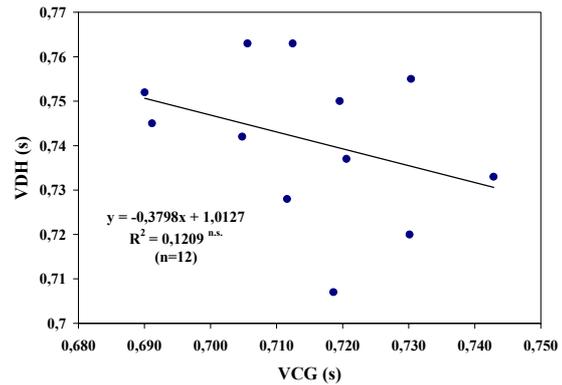
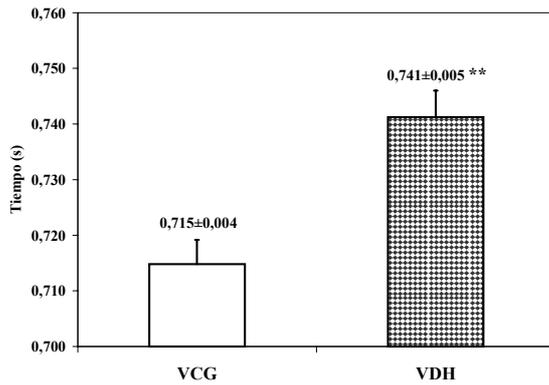
Gráfica-4.-Correlación entre TAV y TSS.

Winter y cols. (1996) afirmaron que la precisión del instrumental de medida debe estar contrastada para que los resultados de los tests sean fiables. Hertogh y cols. (1991), resaltaron que una de las principales diferencias entre las plataformas dinamométricas actuales y las diseñadas en 1930 radicaba en la frecuencia o precisión en la recogida de datos, pasando de 35Hz a 400 Hz. En la literatura no es frecuente encontrar estudios que validen los sistemas de cronometraje de las fotocélulas, por lo que se asume la máxima precisión como la mayor sensibilidad del cronómetro. Así, se han presentado fotocélulas a las que se presupone una precisión de 0,01s (AFR, 2002) y de 0,001s (Luthanen, 1984), no habiéndose contrastado ésta. Dicha afirmación pudiera no ser cierta, ya que un error en cualquiera de las partes del sistema (receptor fotosensible, conducción de la señal, codificación de la señal, etc.) alteraría el valor real de la medición, mientras que el cronómetro seguiría ofreciendo otro valor.

Viitasalo y cols. (1997) validaron una alfombra de contacto basada en fotocélulas (Photocell Contact Mat) para medir tiempos de apoyo y de vuelo en la carrera de velocidad a partir de los datos obtenidos en plataforma de fuerzas con una frecuencia de muestreo de 170Hz (precisión de 0,006s). Este es uno de los pocos estudios que se preocupa por validar el sistema de cronometraje, aunque la precisión del sistema de referencia es mucho menor que la del presente estudio. En nuestro laboratorio se ha llevado a cabo la validación del sistema de cronometraje de una plataforma de contacto para medir el salto vertical (SportJump-v1.0), utilizando una metodología bastante similar a la que se presenta en este estudio (García y cols., 2001; Peleteiro y cols., 2001); los resultados indicaron que la plataforma estaba validada para una precisión de 0,002s. Los resultados arriba expuestos confirman la validación del sistema de cronometraje del DSD Laser System de doble haz para una precisión de 500Hz ó 0,002s.

### **Comparación de la VDH y VCG.**

En la gráfica 4 se aprecia que existen diferencias significativas ( $p < 0,01$ ) entre la velocidad del centro de gravedad (VCG) y la velocidad con el DSD Laser System de doble haz (VDH) expresadas como tiempos en recorrer el tramo de 5m. En la gráfica 5 se observa que la relación entre ambos sistemas obtiene un valor de  $R^2 = 0,1209$  ( $p > 0,05$  ó no significativa) para un rango de tiempos muy pequeño del VCG (0,690-0,743s) y del VDH (0,707-0,763s); lo que equivale a un rango de velocidades VCG (6,7-7,2m/s) y VDH (6,6-7,1m/s) también pequeño.



Gráfica-4.-Diferencias entre VCG y VDH. Gráfica-5.-Correlación entre VCG y VDH.

Desde hace tiempo Dyas y Kerwin (1995) aconsejaron que cuando se utiliza un sistema de fotocélulas de un solo haz, éstas deben montarse a una altura en la que sólo una parte del cuerpo rompa el haz, por lo que recomendaron que fuese la altura de la cabeza o de la cadera. Para que estos tiempos sean representativos del recorrido seguido por el centro de gravedad, la posición de la cabeza o de la cadera en el momento de cortar el haz de la primera fotocélula debe ser igual a la del momento de corte de la segunda fotocélula. Yeadon y cols. (1999) afirmaron que esto sólo ocurriría si el primer haz se colocaba en la misma fase de la zancada que el segundo, lo que es realmente difícil para la mayoría de las situaciones; por ello propusieron un sistema de doble haz similar al presentado en este estudio que validaron para un rango de separación de las parejas de fotocélulas entre 1,6-2,4m y de velocidad de carrera entre 6-9m/s.

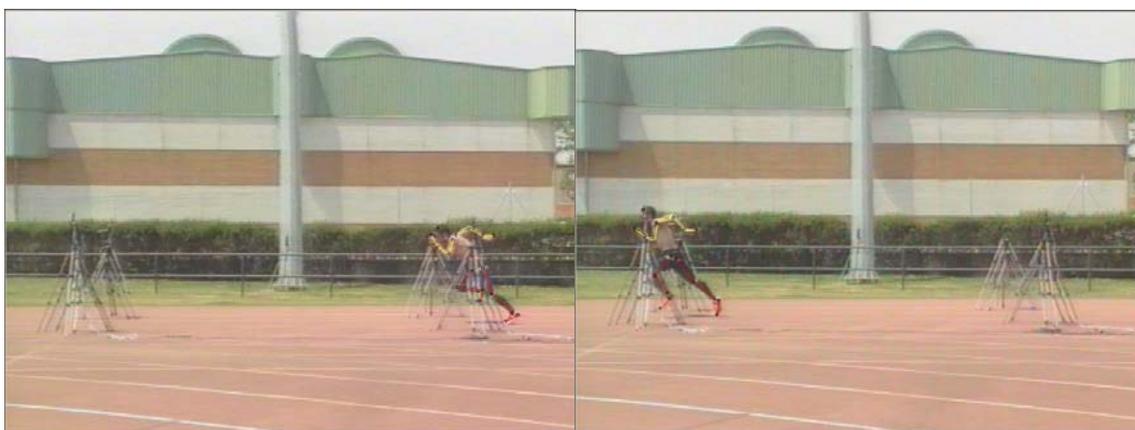
Nuestros resultados muestran que VCG no se corresponde con VDH, lo que no concuerda con las afirmaciones anteriores, y pensamos que se justifica por las siguientes razones:

- A pesar de utilizar distancias más cortas, la carrera descrita por los autores citados era una carrera erguida, con lo que la posición del CG en el momento de cortar el primer par de fotocélulas es bastante similar a la adoptada cuando se corta el segundo par. En nuestro estudio, al tratarse de un tramo de aceleración, los brazos y el tronco llegan antes que el CG al primer par, y a la vez al segundo par, lo que provoca una sobreestimación del tiempo empleado por el CG en recorrer el tramo de 5m (VDH>VCG).
- El rango de velocidades utilizado por Yeadon y cols. (1999) es amplio (5-9m/s), lo que hace más fácil obtener una correlación estadísticamente significativa entre VDH y VCG. Sin embargo, las fotocélulas no son utilizadas comúnmente para distinguir entre deportistas con tan diferente nivel de condición física, ni

diferentes programas de entrenamiento provocan mejoras tan sustanciales de la velocidad. Por ello, al pedir al sujeto la realización de todos los sprints máximos, el rango de velocidades estudiadas ha sido muy pequeño (6,7-7,2m/s), lo que dificulta obtener dichas correlaciones.

Una estrategia para minimizar los errores al medir con fotocélulas la VCG es aumentar la distancia de carrera, en tanto que se disminuye el error relativo (Yeadon y cols., 1999); sin embargo, cuando se trate de una carrera de aceleración, el sistema de fotocélulas sobreestimaré el tiempo y subestimaré la velocidad real del CG ( $VDH > VCG$ ). Algunos autores han medido carreras de velocidad de 5 y 15m con sistemas de haz simple, afirmando que la suplementación con creatina en jugadores de fútbol disminuía el tiempo empleado en recorrer dichas distancias en 0,02s y 0,03s, respectivamente (Mujika y cols., 2000). Nuestra experiencia al medir tiempos en distancias tan cortas (García y cols., 1999) nos hace pensar que es muy difícil reproducir los valores obtenidos en 5m cuando se trata de una carrera de aceleración medida con haz simple, ya que es complejo estandarizar la salida en jugadores de fútbol, menos acostumbrados a una salida estandarizada que el atleta presentado en este estudio. En nuestra experiencia con futbolistas hemos obtenido altos valores de reproducibilidad cuando se miden distancias más largas como son 20 y 50m (Villa y cols., 1999).

Pensamos que una solución para medir el tiempo empleado 5m con el sistema de doble haz en una carrera de aceleración sería colocar un haz a la altura de la cadera y otro a la altura del hombro, con una distancia de separación mucho mayor de 20cm, pero esto debe ratificarse en posteriores estudios. Hemos observado en muchas de nuestras filmaciones que al estar inclinado en el primer par de fotocélulas, el corredor puede cortar el doble haz con su brazo, cuestión que no ocurriría en el último par de fotocélulas (figura 5).



*Figura-5.-Posición de salida (izquierda) y llegada (derecha) del corredor en un sprint.*

En conclusión, se ha validado el DSD Laser System de doble haz para una precisión de 500Hz ó 0,002s. Cualquier sistema de fotocélulas utilizado para medir la velocidad del centro de gravedad en carreras de aceleración subestimarán la velocidad real de éste, por lo que son necesarios posteriores estudios con el DSD Laser System de doble haz que demuestren una mejor relación entre VCG y VDH.

## BIBLIOGRAFÍA

- AFR (2002). "AFR System". AFR Technology, Barcelona, España. <<http://personal.redestb.es/afrtechnology/afr.htm>> [Consulta: 17/06/02].
- BRIZUELA, G. (1996). "Biomecánica del salto de altura". *Rev. ICD*. 12: 87-136.
- DSD (2001). "DSD Laser System". Desarrollo de Software Deportivo (DSD), León, España. <<http://www.dsd.es/dsdlaser.htm>> [Consulta: 17/07/01].
- DYAS, J.W.; KERWIN, D.G. (1995) "A photocell based timing system for studying linear kinematics of running". En Watkins, J. Ed. "Proceedings of the Sports Biomechanics Section of the British Association of Sport and Exercise Sciences":29-32.
- FERRO, A.; GRAUPERA, J.L.; BLASCO, M.I.; BARCELÓ, O.; ANTÓN, E. (1996). "Análisis cinemático de la carrera en velocistas ciegos". *Rev. ICD*. 12: 9-50.
- GARCÍA, J.; RODRÍGUEZ-MARROYO, J.A.; PELETEIRO, J.; MORANTE, J.C.; VILLA-VICENTE, J.G. (2001) "Diseño y validación de una aplicación informática para la valoración biomecánica del salto vertical (SportJump-v1.0)". *Archivos de Medicina del Deporte*. 85: 526-527.
- GARCÍA, J.; VILLA, J.G.; MORANTE, J.C. (1999) "Especificidad de los tests indirectos que valoran la potencia anaeróbica". *Archivos de Medicina del Deporte*. 16: 580-581.
- GUTIERREZ, M. (1999). Biomecánica deportiva. Ed. Síntesis, Madrid.
- HAY, J.G. (1992). "The biomechanics of the triple jump: A review". *J. Sports Sci*. 10: 343-378.
- HERTOGH, C.; MICALLEF, J.P.; VAISSIÈRE, F. (1991). "Test d'évaluation de la puissance maximale". *Sci. Sports* 6(3): 185-191.
- IBV (2002). "Kinescan-2001". Instituto Biomecánico de Valencia (IBV), Valencia, España. <<http://www.ibv.org>> [Consulta: 17/06/02].
- LUTHANEN, P. (1984). "Evaluación física de los jugadores de fútbol". *Apunts* 21(82): 99-102.

- MUJIKA, I; PADILLA, S; IBANEZ, J; IZQUIERDO, M; GOROSTIAGA, E. (2000) "Creatine supplementation and sprint performance in soccer players". *Med. Sci. Sports Exerc.* 32(2): 518-525.
- PELETEIRO, J.; RODRÍGUEZ-MARROYO, J.A.; MORANTE, J.C.; VILLA-VICENTE, J.G.; VILLA-VICENTE, J.G.; GARCÍA-LÓPEZ, J. (2001) "Metodologías para el cálculo de la altura del salto vertical: SportJump-v1.0". En Campos, J.F. y cols. Ed. "Nuevas aportaciones al estudio de la actividad física y el deporte". Ed. Facultat de Ciències de l'Activitat Física i l'Esport. Universitat de Valencia: 281-292.
- RICHARDS, J.; FARREL, M.; KENT, J.; KRAFT, R. (1985). "Weight transfer patterns during the golf swing". *Res. Quart. Exerc. Sport.* 56: 361-365.
- VIITASALO, J.T; LUHTANEN, P.; MONONE, H.V.; NORVAPALO,K.; PAAVOLAINENE,L.; SALONEN, M. (1997). "Photocell contact mat; a new instrument to measure contact and flight times in running". *J. Appl. Biomech.* 13 (2): 254-266.
- VILLA, J.G.; GARCÍA, J.; MORANTE, J.C.; MORENO, C. (1999). "Perfil de fuerza explosiva y velocidad en futbolistas profesionales y amateurs". *Archivos de Medicina del Deporte* 16(72): 315-324.
- WINTER, E.M.; BROWN, D.; ROBERTS, N.K.A; BROOKES, F.B.C.; SWAINE, I.L. (1996). "Optimized and corrected peak power output during friction-braked cycle ergometry". *J. Sports Sci.* 14(6): 513-521.
- YEADON, M.R.; KATO, T.; KERWIN, D.G. (1999) "Measuring running speed using photocells". *J. Sports Sci.* 17: 249-257.