

DISEÑO, DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UN SISTEMA FOTOGRAMÉTRICO PARA LA VALORACIÓN CINEMÁTICA DE LA COMPETICIÓN EN DEPORTES DE EQUIPO

Barbero, J. C; Soto, V. M. & Granda, J.

RESUMEN

La valoración y cuantificación de los desplazamientos del jugador a lo largo de la ejecución de sus movimientos durante su intervención en los partidos, permite obtener información muy relevante para poder deducir las cargas físicas a las que éste se ve sometido (Hughes y Franks, 1997). Este conocimiento de las exigencias físicas soportadas por el jugador durante la actividad competitiva proporciona información muy útil y relevante para entrenadores y preparadores físicos sobre las demandas del deporte y la tipología de esfuerzos.

El propósito del presente trabajo es dar a conocer las principales características de un sistema fotogramétrico desarrollado para el análisis cinemático de la competición en deportes de equipo.

El método desarrollado permite realizar un análisis cinemático mediante fotogrametría bidimensional cuantificando de forma precisa y fiable los desplazamientos registrados. Genera información referente a parámetros tanto cinemáticos (distancias, velocidades, aceleraciones) como de utilización del espacio (áreas frecuentadas), variables muy útiles para deducir las cargas físicas a las que se ve sometido el deportista durante la competición, proporcionando un conocimiento más específico de cada una de las especialidades deportivas estudiadas.

Palabras clave: Análisis cinemático, deportes de equipo, competición.

ABSTRACT

The valuation and quantification of the displacements of the player throughout the execution of its movements during its intervention in the parties, allow to obtain very excellent data to be able to deduce the physical loads which this one is put under (Hughes and Franks, 1997). This knowledge of the physical exigencies supported by the player during the competitive activity provides very useful and excellent information for trainers and physical trainer on the demands of the sport and the typology of the efforts.

The intention of the present work is to present the main characteristics a developed fotogrametric system for the kinematic analysis of the competition in equipment sports.

The developed method allows realize a kinematic analysis by means of bidimensional photogrammetry quantifying of precise and trustworthy form the registered displacements. It generates information referring to as much kinematic parameters (distances, speeds, accelerations) like of use of the space (frequented areas), very useful variables to deduce the physical loads which one is put under the sportsman during the competition, providing a more specific knowledge of each one of the studied sport specialties.

Key words: Kinematic analysis, team-sports, competition.

INTRODUCCIÓN

En la última década hemos asistido, en el ámbito de las Ciencias del Deporte, a una creciente proliferación de estudios e investigaciones sobre el análisis del juego, principalmente en los deportes colectivos. La información sobre la actividad competitiva es muy importante, en la medida en que aporta datos esenciales sobre el desarrollo del juego, constituyendo un criterio fundamental para la preparación de los jugadores y del equipo (Godik et al., 1993), así como para la organización de los procesos de enseñanza y entrenamiento (Gréahaigne, 1992).

En la actualidad, el modelo existente para los deportes de equipo está basado en el máximo rendimiento durante la competición, es por esto que la planificación del entrenamiento, la dirección del equipo, las evaluaciones y controles, la dinámica de las cargas, los medios a utilizar, etc. están condicionados a los resultados obtenidos en la misma. Este hecho implica, que el primer requisito para establecer las líneas de actuación por parte del cuerpo técnico, sea el conocimiento exhaustivo de la dinámica de la actividad competitiva y las exigencias que reclama a los jugadores.

La valoración y cuantificación de los desplazamientos del jugador a lo largo de la ejecución de sus movimientos durante su intervención en los partidos, permite obtener información muy relevante para poder deducir las cargas físicas a las que éste se ve sometido (Hughes y Franks, 1997). Este conocimiento de las exigencias físicas soportadas por el jugador durante la actividad competitiva proporciona información muy útil y relevante para entrenadores y preparadores físicos sobre las demandas del deporte y la tipología de los esfuerzos.

Por tanto, confeccionar un modelo de entrenamiento específico en los deportes de equipo, requiere el análisis de las exigencias físicas, fisiológicas y energéticas impuestas por la competición. Partiendo de su conocimiento, se pueden establecer programas adecuados dirigidos hacia las cualidades condicionales específicas, proponiendo un proceso de entrenamiento riguroso, científico y adaptado a las necesidades propias del deporte. Si desconocemos estos parámetros, nuestra preparación física carecerá de rigor, obteniendo resultados más relacionados con el azar que con una planificación seria y científica aplicada al deporte (Barbero, 1998; 2002).

La perspectiva biomecánica permite realizar de forma precisa dichas valoraciones, pero para ello se requieren desarrollos tecnológicos basados en metodologías fotogramétricas que suelen ser poco habituales. En biomecánica deportiva abundan los análisis en disciplinas “técnicas” como atletismo o natación siendo menos habituales los análisis en deportes colectivos.

Los desplazamientos de jugadores en los deportes de equipo, no pueden ser analizados con métodos fotogramétricos tradicionales. Los principales problemas que surgen de la aplicación de la fotogrametría tradicional al análisis de los deportes de equipo pueden concretarse en dos:

- Espacios reducidos: La fotogrametría está encaminada al análisis de gestos deportivos que se realizan en espacios reducidos, estando su empleo muy limitado por el sistema de referencia.

- Análisis fotograma a fotograma: La necesidad de capturar y digitalizar las filmaciones implica que los eventos no deben ser de excesiva duración.

Estos inconvenientes justifican la necesidad de elaborar adaptaciones tecnológicas que no suelen encontrarse en el mercado.

El análisis de los deportes puede realizarse de manera cualitativa o cuantitativa. Tradicionalmente, para el análisis de la competición se han utilizado sistemas de análisis cualitativos, que continúan siendo aplicados con frecuencia en la actualidad a pesar de ser una metodología inexacta, subjetiva y ambigua, debido fundamentalmente a la ausencia de metodologías más precisas.

Atendiendo a los sistemas utilizados, el progreso de las metodologías empleadas para el análisis cinemático de los desplazamientos en los deportes colectivos ha sido extraordinario. Esta evolución se ha construido por etapas y en cada una de ellas el sistema desarrollado surge con el deseo de perfeccionar los anteriores (Dufour, 1993; Hughes, 1993; 1996).

Esta evolución abarca desde los métodos basados en la anotación manual, denominados “Lápiz y papel” (Reep y Benjamín, 1968; Kae Oulai, 1988), anotaciones que se realizan en vivo mediante la observación directa, caracterizadas por ser asistemáticas y muy subjetivas. Hasta los métodos fotogramétricos basados en la filmación con vídeo Oashi y cols., 1988; Dufour, 1993; Hughes, 1993; Reilly, 1996), los cuales aportan el añadido de la utilización de las nuevas tecnologías de captación del movimiento mediante el uso intensivo del ordenador y de soportes lógicos (software) específicamente desarrollados para la deducción de la localización y desplazamiento espacial del deportista.

En síntesis, son diversas las causas que justifican el diseño y desarrollo de nuevas metodologías que permitan el análisis cinemático de la competición tanto en deportes de equipo como en deportes de raqueta:

a. La necesidad de obtener datos fiables sobre la competición que puedan contribuir a una mayor especificidad de los entrenamientos, y por tanto a una mejora del rendimiento. Así como el desconocimiento de las cargas de tipo cinemático a las que se ven sometidos los jugadores durante la competición en los deportes de equipo o de raqueta.

b. Los desplazamientos de los jugadores en deportes de equipo no pueden ser analizados con métodos fotogramétricos tradicionales.

c. La ausencia de sistemas desarrollados que permitan una aplicación a la totalidad de los deportes de equipo y que posibiliten el análisis de todos los jugadores que intervienen en un partido.

d. Hasta la fecha los sistemas cualitativos empleados para el análisis de la competición han sido demasiado artesanales, ambiguos y subjetivos.

e. El desarrollo de soportes lógicos propios permite una aplicación personalizada según nuestros intereses y las variables objeto de estudio.

Por todo lo expuesto, entendemos que queda justificado el diseño, desarrollo y validación de un sistema fotogramétrico para el análisis de los desplazamientos en deportes de equipo y de raqueta que permita cuantificar los desplazamientos del jugador durante la competición, obteniendo información fiable sobre diversos parámetros cinemáticos (distancia recorrida, velocidades, aceleraciones, etc.) muy útiles para deducir las cargas físicas a las que se ve sometido el deportista en condiciones reales de juego.

El propósito del presente trabajo es dar a conocer las principales características de un sistema fotogramétrico desarrollado para el análisis cinemático de la competición en deportes de equipo, que es el resultado de una tesis doctoral defendida recientemente (Barbero, 2002).

1. Método

Soto (1995), señala que un sistema de análisis tridimensional (3D) basado en técnicas fotogramétricas obtenidas a partir de imágenes de vídeo o cinematografía, debe estructurarse de forma secuencial (Figura 1). Lo mismo ocurre si el sistema de análisis es en dos dimensiones (2D), se deben establecer una serie de pasos metodológicos por los que ha de transcurrir el proceso de análisis, desde la fase inicial de registro de datos hasta la obtención de los resultados. Es un sistema basado en la adaptación de la metodología fotogramétrica bidimensional que está estructurado secuencialmente y que nos ha permitido cuantificar minuciosamente los desplazamientos de jugadores de deportes colectivos cuando compiten.

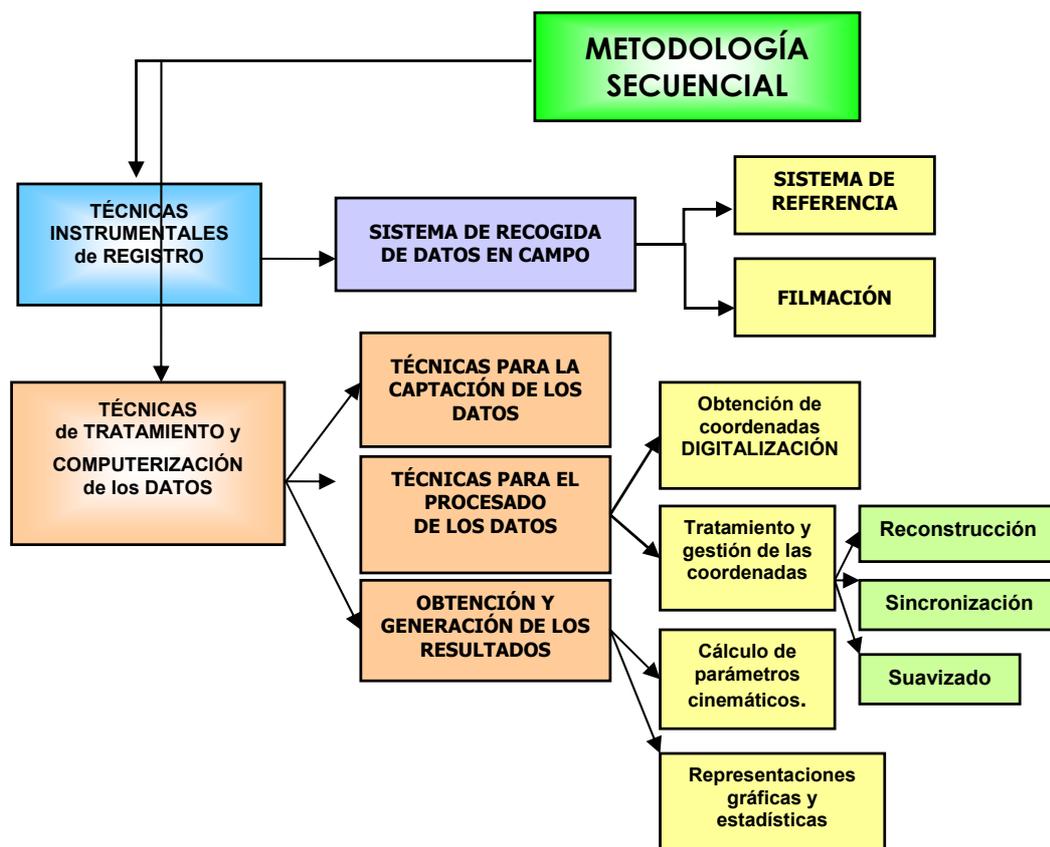


Figura 1. Metodología secuencial del sistema fotogramétrico desarrollado (adaptado de Soto, 1995).

Las técnicas instrumentales utilizadas se clasifican en dos categorías, en primer lugar (a) técnicas instrumentales de registro y, en segundo lugar, (b) técnicas instrumentales para el tratamiento y computerización de los datos. Como técnica instrumental de registro se ha utilizado la filmación con vídeo, mientras que el tratamiento y computerización de los datos se compone de diversos módulos con diferentes objetivos: la captación de los datos mediante el módulo de **digitalización**, el tratamiento y gestión de los datos por medio de las fases de **reconstrucción**, **sincronización** y **suavizado** y la generación de resultados a través del módulo de **cálculo** (Figura 2).

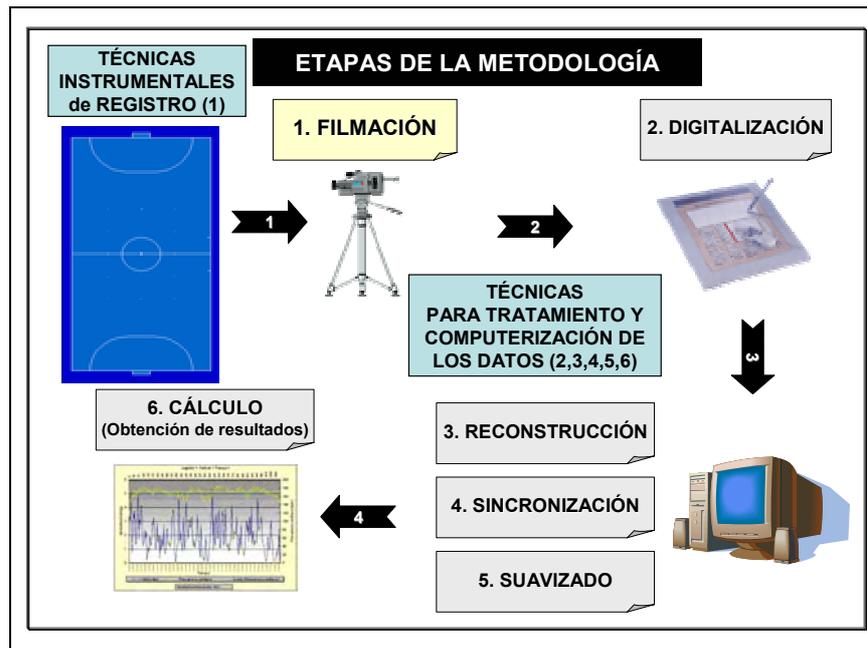


Figura 2. Etapas de la metodología.

A continuación se especificarán las diferentes fases del proceso de análisis:

A. Fase de FILMACIÓN

Si pretendemos investigar situaciones competitivas deberán utilizarse sistemas de registro que no afecten al comportamiento del atleta, de ahí la gran capacidad que demuestra la utilización de filmaciones a partir de vídeo y/o cinematografía. En nuestro caso, el soporte empleado ha sido el vídeo, para la fase de filmación se han utilizado cámaras estáticas que registran el movimiento manteniendo su campo de visión inmóvil. Es la alternativa más habitual por su simplicidad, pero tiene el inconveniente de que se pierde precisión si se utiliza en espacios muy amplios.

Se trata de un sistema que no requiere medidas de campo, es decir, las cámaras se pueden colocar libremente en cualquier posición y tan sólo requieren la utilización de una serie de puntos de referencia para su calibración. Esta característica es de gran utilidad en las filmaciones realizadas en condiciones competitivas puesto que nos permite una gran versatilidad dependiendo de las características del pabellón o instalación deportiva.

La correcta ubicación de las cámaras es primordial para la precisión de los datos espaciales por lo que deben tenerse en cuenta una serie de requisitos:

- Filmar el encuentro completo, sin pausas ni interrupciones.
- Se debe mantener fija la cámara durante todo el proceso de filmación.
- Evitar posiciones que puedan verse interferidas por el desplazamiento de móviles que corten el eje óptico (público, otros competidores, etc.) (Soto, 1995; Rojas, 1997).

- Colocar las cámaras en posiciones estables que no den lugar a modificación posterior de la orientación por el desplazamiento o deformación de la base de apoyo (Soto, 1995).

- La ubicación de la cámara debe estar lo más lejos posible del sujeto (Plagenhoef, 1971) para evitar el efecto de deformación producido cuando se filma muy cerca del lugar donde se realiza el gesto.

- La cámara debe abarcar todo el terreno de juego, para ello puede utilizarse un gran angular. Si los jugadores se ven demasiado pequeños la grabación se realizará mediante dos cámaras filmando cada una de ellas medio campo, esta opción ha sido la elegida para nuestra investigación, ya que con una sola cámara no conseguíamos abarcar todo el campo.

- Buscar posiciones lo más elevadas posible que permitan la menor deformación posible originada por la perspectiva. Sabemos que la deformación por el efecto de perspectiva siempre existirá, pero se puede minimizar ya que de ello depende mucho la fiabilidad del proceso de reconstrucción que detallaremos en otro apartado.

Nuestro modelo propone el empleo de dos cámaras, una para cada medio campo, registrándose los movimientos en dos dimensiones. Solamente interesan las evoluciones de los jugadores en el plano horizontal, entendiendo los movimientos que se puedan efectuar en el eje vertical como no significativos. No obstante, en algunos deportes, como el voleibol, los desplazamientos verticales pueden suponer un porcentaje muy elevado de los movimientos que se realizan a lo largo del partido y en estos casos sí parece aconsejable la utilización de más cámaras para realizar estudios tridimensionales (3D).

El sistema de referencia utilizado para la obtención de las coordenadas bidimensionales fue el propio terreno de juego, se utilizaron las líneas que lo delimitan y las intersecciones entre ellas como referencias de digitalización ya que sus dimensiones están determinadas con exactitud por el reglamento o pueden ser fácilmente medidas.

Una vez realizadas las filmaciones, con el fin de obtener los datos correspondientes a las posiciones espaciales de los jugadores, es necesario el

tratamiento de los registros. Éste se realiza mediante un sistema informático especializado, diseñado y desarrollado para la tesis citada, denominado “Runner v.1.0”, el cual se compone de una serie de módulos que permiten el tratamiento y computerización de los datos y que van desde la digitalización hasta el módulo de cálculo para la generación de los resultados.

El proceso de computerización de los datos consta de cuatro fases específicas que se describen en los siguientes apartados; estas fases son: digitalización, reconstrucción, sincronización y suavizado.

B. Fase de DIGITALIZACIÓN

Consiste en la detección y almacenamiento de las coordenadas planas (2D) de los jugadores en el espacio y del sistema de referencia utilizado. Es necesaria la ejecución de este proceso en dos ocasiones, una por cada una de las cámaras utilizadas.

La digitalización se realiza de forma manual mediante el empleo de una tableta digitalizadora, existe la posibilidad de realizar este proceso a velocidades ralentizadas o en tiempo real. Para el estudio de aplicación en fútbol sala hubo que determinar la frecuencia de muestreo ideal; se estableció después de algunos estudios previos que la frecuencia adecuada para este tipo de análisis es de 4 Hz.

La digitalización implica tanto la determinación del sistema de referencia, utilizando como localizaciones de digitalización las intersecciones entre las líneas que delimitan el terreno de juego, como el seguimiento de cada uno de los jugadores que será objeto de estudio: Se trata de la persecución del jugador utilizando para ello el cursor del ratón.

La localización espacial que el especialista en la tarea de digitalización utiliza como ubicación de la posición del jugador en la cancha es el centro de la base de sustentación proyectada sobre el pavimento. Para deportes de equipo como baloncesto, fútbol sala o balonmano, hemos elegido como punto de referencia el centro geométrico de la línea imaginaria que une los dos pies. Debido a que el análisis cuantitativo se basa en los datos proporcionados por esta fase, es esencial que la localización del punto medio y su seguimiento sea lo más cuidadosa y fiable posible.

Es necesario significar que debemos controlar y minimizar el error sistemático producido por el operador en la fase de digitalización. Para ello, el proceso de digitalización debe efectuarse por un mismo especialista, como aconseja Vera (1988), estableciendo un criterio y manteniéndolo durante todo el proceso. Además, es conveniente que el experto en digitalización adquiera esta habilidad tras

la ejecución de un proceso de aprendizaje/entrenamiento con el objetivo de lograr la fiabilidad que requiere el análisis biomecánico.

File= futsal.RUN Cancha: 1 Jugador: 01 Tiempo: 00019 [X,Y]= [3.64, 12.31]

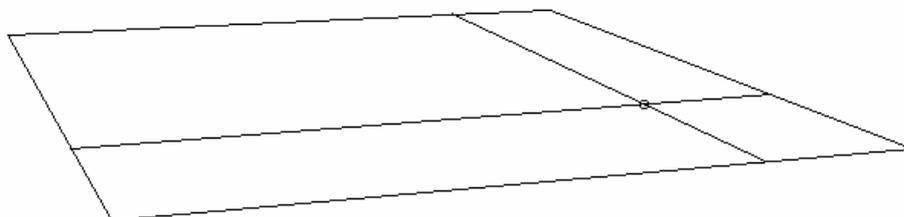


Figura 3. Pantalla de visualización de la digitalización del programa Runner. En el ejemplo aparece una posición capturada, se observa la localización del jugador en ese instante y el sistema de referencia digitalizado de la cancha 1

Por último, indicar que se puede digitalizar el partido de forma continua o dividir en periodos y subperiodos según nuestros intereses, siendo de vital importancia la sincronización del reloj del programa con el reloj del vídeo. Lo ideal es realizar el menor número de interrupciones posibles en la digitalización o emplear para detener el proceso momentos en los que el juego está interrumpido.

C. Fase de RECONSTRUCCIÓN

La fase de reconstrucción es necesaria ya que las coordenadas que obtenemos están deformadas por la perspectiva, ya que la colocación de las cámaras no es perpendicular a la cancha.

Como consecuencia, es preciso reconstruirlas pasándolas a valores métricos sin deformación. Esta fase requiere la utilización de unos simples algoritmos basados en ecuaciones trigonométricas que toman como referencia los ángulos obtenidos en los cuatro vértices marcados para definir el área de juego (nuestro sistema de referencia). A partir de dichos ángulos, es posible reconstruir, o sea, es posible deducir la posición real de la proyección de la base de sustentación, tal y como se vería si hubiéramos ubicado una cámara superior (cenital) en una hipotética situación en la que no se produjese ninguna deformación por la óptica de las cámaras. El resultado final es pasado a escala real, o sea, expresando la posición reconstruida en metros.

D. Fase de SINCRONIZACIÓN

La sincronización es necesaria ya que el registro de los datos se ha obtenido con dos cámaras distintas que graban dos zonas del campo diferentes de forma simultánea. Este proceso deduce el desplazamiento global del jugador, que se encuentra duplicado, ya que tenemos registrado su movimiento en dos campos visuales distintos.

El módulo de digitalización ignora aquellos movimientos del ratón que no se realizan dentro del área de juego seleccionada, utilizando para ello la línea central del campo como límite definidor del principio y/o fin del área de digitalización de uno u otro campo. Al realizar este proceso surgen algunos inconvenientes, que pueden ser considerados como errores sistemáticos y que son ocasionados por una digitalización imprecisa, principalmente cuando el jugador se desplaza próximo a la línea central. Para subsanar estos errores, es necesario tomar una serie de medidas que se detallan en el siguiente apartado.

E. Fase de SUAVIZADO y CONTROL del ERROR

La localización exacta de los puntos a digitalizar supone una tarea realmente laboriosa y complicada, por lo que aparecen errores de apreciación imposibles de corregir si no es mediante procesos matemáticos. Esto último es lo que se conoce como el proceso de suavizado, en donde se pretende minimizar esos posibles errores hasta niveles poco significativos, de manera que no generen alteraciones en los resultados.

Hemos descrito anteriormente que primero debemos controlar y reducir el error sistemático producido por el operador en la fase de digitalización. No obstante, las coordenadas obtenidas tras el proceso de digitalización, reconstrucción y sincronización contienen una serie de incorrecciones en su localización, por ello, es necesaria la utilización de algún algoritmo que permita minimizar y, si es posible, eliminar esos errores asociados a las coordenadas.

En nuestro sistema, el proceso de reducción del error se ha basado en la obtención de una serie de funciones matemáticas cuyo comportamiento dinámico y trayectoria dependerá del grado de suavizado deseado por el investigador, pudiendo modificarlo según sus necesidades. El tipo de función empleada se denomina filtro digital de paso bajo, el cual puede ser utilizado con distintos niveles de suavizado en función del desplazamiento espacial realizado.

En las aplicaciones realizadas hasta el momento, el procedimiento utilizado a la hora de designar el factor de suavizado, ha sido aplicar al filtro digital el mismo factor de suavizado a todos los jugadores analizados de un mismo deporte. Hemos

seleccionado un valor que ha sido contrastado y deducido tras la experimentación previa de distintos valores, buscando aquel valor que atenuara las brusquedades habituales en algunos desplazamientos considerados de forma nítida como errores aleatorios de digitalización, siempre y cuando no alterase aquellos comportamientos considerados como reales durante la ejecución.



Figura 4. Análisis visual del resultado obtenido con distintos tipos de factores de suavizado sobre el desplazamiento reconstruido y sincronizado, de un jugador de fútbol sala, en un intervalo de un minuto de duración.

Desplazamiento original no suavizado (izquierda).

Coordenadas suavizadas excesivamente - en color azul (centro).

Coordenadas suavizadas de forma correcta (derecha).

F. Fase de generación de CÁLCULOS-RESULTADOS

Finalmente, una vez completadas todas las fases previas para la transformación de las coordenadas originalmente digitalizadas, obtenemos las coordenadas definitivas ya reconstruidas, sincronizadas y suavizadas. En este momento podemos dar por concluida la fase de tratamiento y procesado de las coordenadas, pasando, por último, a la fase de generación y obtención de los resultados con la que finaliza el análisis.

En esta última fase se realizan dos tipos de procesos:

- Obtención de parámetros numéricos: Cálculo de parámetros cinemáticos.
- Obtención de parámetros gráficos: Representaciones gráficas y estadísticas.

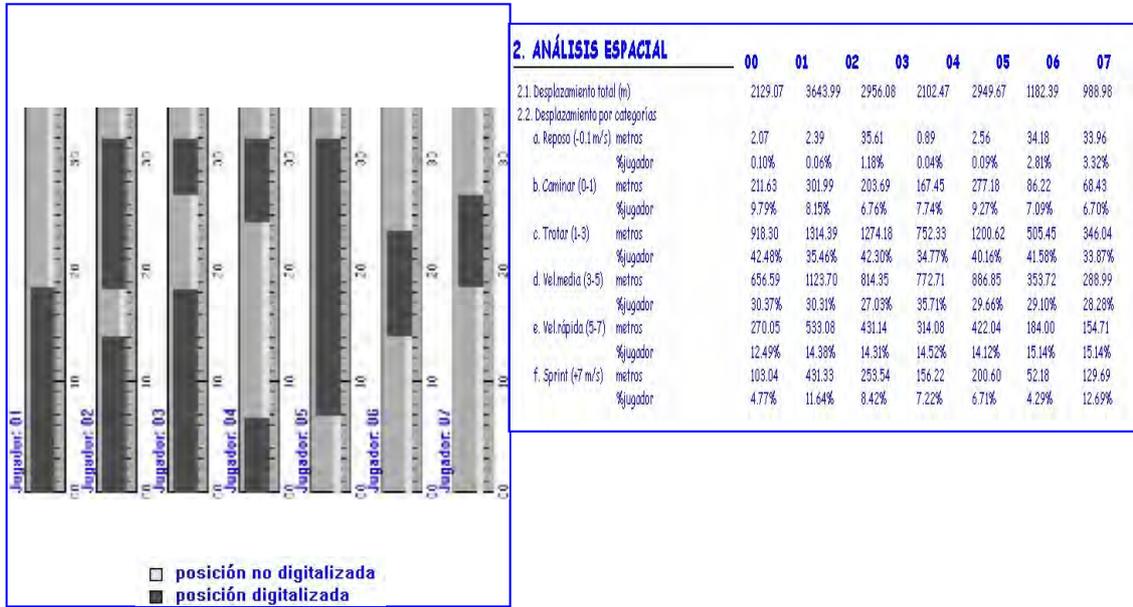


Figura 5. A la izquierda ejemplo de una representación gráfica en la que se aprecian los tiempos de permanencia en el campo de los jugadores que intervienen. A la derecha generación de resultados procedentes del análisis cinemático referentes a distancia total recorrida y distancias a diferentes velocidades.

El módulo de cálculos permite generar los resultados procedentes del análisis cinemático del jugador durante la competición mediante la cuantificación de diversas variables. En definitiva el sistema desarrollado proporciona datos fiables de los siguientes parámetros:

- Intervalos temporales y tiempos a diferentes velocidades.
- Distancias y distancias a diferentes velocidades.
- Velocidades.
- Aceleraciones.

- Picos esfuerzo.
- Áreas frecuentadas.
- Trayectorias.

2. RESULTADOS

Para la validación del sistema se han realizado aplicaciones en fútbol y fútbol sala, estudios que han proporcionado información muy relevante sobre la actividad competitiva de estos deportes. En la actualidad, se van a iniciar investigaciones en otros deportes de equipo como balonmano y baloncesto.

En cualquier estudio, podemos encontrar una serie de variables contaminantes que pueden alterar la realidad de los resultados obtenidos. En nuestro caso, la variable contaminante más importante que encontramos es el error que podemos cometer al digitalizar. Por ello, ha sido necesario llevar a cabo un intenso entrenamiento del operador de digitalización que, además, nos ha ofrecido la posibilidad de comprobar la fiabilidad del sistema fotogramétrico desarrollado. El resultado de dicho procedimiento, aplicado en el estudio de fútbol sala, ha sido el siguiente:

- El error estimado de forma espacial es de ± 8.57 metros por cada 5 minutos de juego.
- En casos de mínima movilidad del jugador, se han llegado a deducir errores de estimación de ± 2.28 m/5 min.
- Estos valores suponen con respecto a la totalidad de los desplazamientos un error que oscila entre el 1.2% y el 1.7%.

A continuación se exponen algunos resultados obtenidos de la aplicación del sistema en un deporte de equipo como el fútbol sala:

a. El jugador de fútbol sala recorre por término medio 4878.37 m \pm 701.37. Existiendo notables diferencias (7547 – 1257) según su permanencia en pista.

b. Durante el tiempo que permanece en juego alterna esfuerzos de alta y máxima intensidad (velocidades entre 5 y 7 m/s y superiores a 7 m/s, respectivamente) con periodos en los que está en reposo o realiza carreras de baja y media intensidad, siendo la velocidad media durante su participación de 1.93 m/s (1.74 – 2.08), aproximadamente 115 metros por minuto.

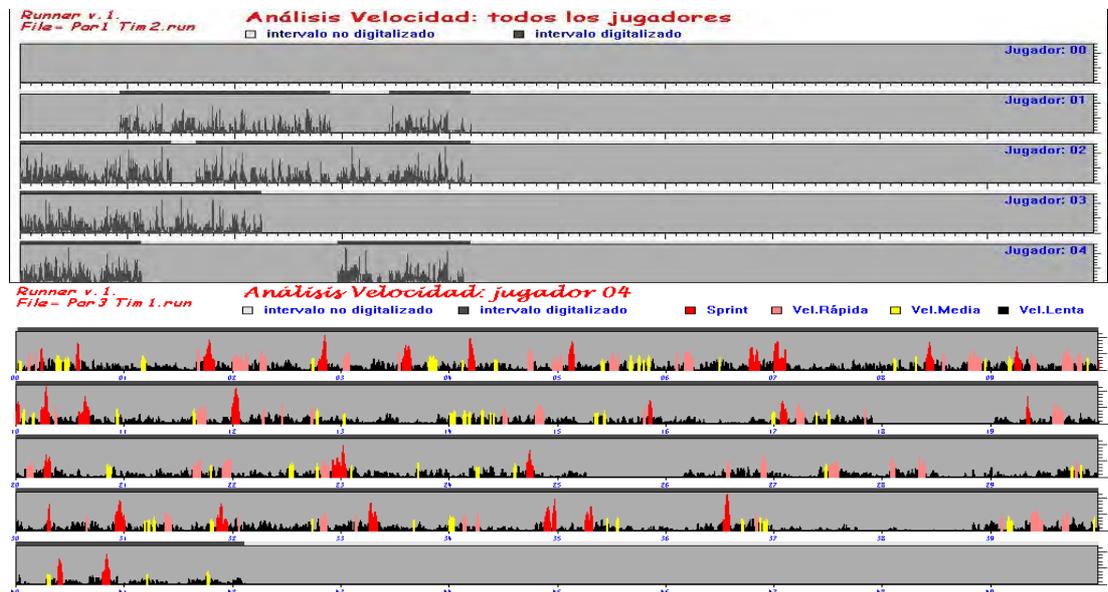
c. La distancia recorrida y los tiempos a diferentes intensidades nos proporciona el patrón de actividades durante la competición. Hemos estimado que el 21.62% de la distancia recorrida se efectúa a velocidades superiores a 5 m/s, lo que equivale a 642.31 m y 384.46 m recorridos a velocidades entre 5 y 7 m/s y

superiores a 7 m/s respectivamente. El mayor número de metros se recorre trotando (2002.65 m) y a velocidad media (1393.45 m).

d. El jugador de fútbol sala realiza un mayor número de esfuerzos de baja intensidad (176.3 ± 18.58) siendo los esfuerzos de máxima intensidad (<7 m/s) los que realizan en menor cantidad (44.73 ± 1.43). La razón entre esfuerzos máximos y de intensidad alta con los moderados o de recuperación es de 1:2.

e. Finalmente, podemos resaltar que cada minuto que el jugador de fútbol sala permanece en el terreno de juego durante la competición, realiza:

- e.1. 1.17 esfuerzos de intensidad máxima (<7 m/s).
- e.2. 1.46 esfuerzos de alta intensidad (entre 5 – 7 m/s)
- e.3. 1.64 esfuerzos de intensidad media (entre 3 – 5 m/s)
- e.4. 4.31 esfuerzos de baja intensidad (>3 m/s)



3. CONCLUSIONES

□ Estimamos que es una herramienta válida para el análisis de los desplazamientos en deportes de equipo u otros (deportes de raqueta), facilitando la aproximación a la situación real de juego ya que permite cuantificar y analizar diferentes variables cinemáticas durante la competición de forma indirecta, sin afectar o interferir en el rendimiento del jugador.

- Se trata de un sistema que puede ser aplicado en todo tipo de deportes en donde la cancha esté delimitada, si bien en espacios mayores se puede emplear un mayor número de cámaras.
- La tarea de digitalización debe ser realizada por un especialista que debe superar un proceso de instrucción-entrenamiento muy riguroso.
- Puede obtenerse la distancia recorrida en cualquier intervalo de tiempo (segundos, minutos, etc.), lo que nos permite analizar con detalle el esfuerzo realizado por el jugador durante la actividad competitiva.

TENDENCIAS FUTURAS:

- Ampliar estudios a otros deportes.
- Sincronizar los datos obtenidos del análisis cinemático con registros fisiológicos (frecuencia cardíaca, lactato).
- Automatización de la digitalización mediante algoritmos de visión por computador que estamos desarrollando para la futura versión del sistema. Consiste en la detección y seguimiento automático de los desplazamientos del jugador durante el partido por parte del ordenador, de esta forma ganaríamos precisión y ahorraríamos tiempo en la digitalización.
- Añadir anotación de eventos, que pueden abarcar desde indicar al programa si estamos en ataque o defensa o si el balón se encuentra en juego o no, hasta el control (con la presencia de otro observador) de las diferentes acciones técnicas que se ejecutan (lanzamientos, pases, recuperaciones, etc.) pudiendo indicar las zonas más comunes de finalización de cada equipo, el porcentaje de pases errados o el número de recuperaciones.
- Análisis del juego en tiempo real. Las opciones anteriores dan la oportunidad de obtener los resultados del análisis una vez finalizado el partido, durante los descansos o en los tiempos muertos, permitiendo facilitar información a los entrenadores, cuerpo técnico y jugadores de las diferentes variables.

REFERENCIAS

- Barbero, J. C. 1998. El entrenamiento de los deportes de equipo basado en estudios biomecánicos (Análisis cinemático) y fisiológico (Frecuencia cardíaca) de la competición. *Lecturas en Educación Física y Deportes. Revista digital*, año 3, 11, Octubre 1998. Consulta: 18 Septiembre 2002 de la World Wide Web: <http://www.efdeportes.com/efd11a/biomec.htm>.
- Barbero, J.C. 2002. Desarrollo de un sistema fotogramétrico y su sincronización de los registros de frecuencia cardíaca para el análisis de la competición en los deportes de equipo. Una aplicación práctica en fútbol sala. *Tesis Doctoral*.

- Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad de Granada.
- Dufour, W. 1993. Computer assisted scouting in soccer. En T. Reilly, J. Clarys y A. Stybbe (Eds.). *Science and Football II*, 160-166. Londres: E. & F. N. Spon.
- Godik, A., Popov, V. y Artero, V. 1993. *La preparación del futbolista*. Barcelona: Paidotribo.
- Gréhaigne, J. F. 1992. Les représentations du jeu en sport collectif et leurs conséquences sur le apprentissage. *Dossier E.P.S. Didactique des sports collectives à l'école*, 17, 51-54. Groupe sports collectives de l'Académie de Dijon. París: Editorial E.P.S.
- Hughes, M.D. 1993. Notational Analysis in football. En T. Reilly, J. Clarys y A. Stybbe (Eds.). *Science and Football II*, 151-159. Londres: E. & F. N. Spon.
- Hughes, M.D. y Franks., I. 1997. *Notational Análisis of Sport*. London: E. & F. N. Spon.
- Kae Oulai, G. 1988. L'entraînement physicothechnique. Les principes d'organisation (football). *Memoire pour le diplome de L'INSEP*. Paris.
- Plagenhoef, S. 1971. *Patterns of Human Motion*. Toronto: Prentice-Hall.
- Reep, C. y Benjamin, B. 1968. Skill and chance in association football. *Journal of the royal statistical society*, 131, 581-586.
- Reilly, T. 1996. *Science and Soccer*. Londres: E. & F. N. Spon.
- Rojas, F. J. 1997. Efecto de la oposición sobre los factores biomecánicos del lanzamiento en salto tras carrera previa en baloncesto. *Tesis doctoral*. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad de Granada.
- Soto, V. M. 1995. Desarrollo de un sistema para el análisis biomecánico tridimensional y la representación gráfica realista del cuerpo humano. *Tesis doctoral*. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte Universidad de Granada.
- Oashi, J.; Togari, H.; Isowaka, M. Suzuki, S. 1988. Measuring movement speeds and distances covered during soccer match play. En T. Reilly, J. Clarys y A. Stybbe (Eds.). *Science and Football II*, 329-333. Londres: E. & F. N. Spon.
- Vera, P. 1988. Técnicas biomecánicas para el análisis de los movimientos deportivos: estado actual y perspectivas. *Actas del I Congreso de Humanismo y Nuevas tecnologías en la educación física y el deporte*, 235-243. Madrid.