

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA



***“ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO FÍSICO DE LOS
ÁRBITROS Y ÁRBITROS ASISTENTES
DURANTE LA COMPETICIÓN EN EL FÚTBOL”***

TESIS DOCTORAL

Javier Mallo Sainz

Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

2006

**Departamento “Física e instalaciones aplicadas a
la edificación, al medio ambiente y al urbanismo”**

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Universidad Politécnica de Madrid

***“ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO FÍSICO DE LOS
ÁRBITROS Y ÁRBITROS ASISTENTES
DURANTE LA COMPETICIÓN EN EL FÚTBOL”***

TESIS DOCTORAL

Presentada por:

Javier Mallo Sainz

Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

Dirigida por:

Enrique Cabello Navarro

Doctor en Ciencias Físicas

Madrid, 2006

Impreso D12

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Enrique Navarro, director y tutor del trabajo de investigación, por haber hecho posible que lo que en principio parecía una utopía se convirtiese en una realidad.

Al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Politécnica de Madrid, por haberme concedido durante cuatro años una beca de “Formación de Profesional Investigador” que ha permitido sustentar este trabajo.

A la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte (INEF) de Madrid, que ha facilitado los medios materiales para poder llevar a cabo la adquisición, procesamiento y tratamiento de los datos.

A la Federación Internacional de Fútbol Asociado que ha apoyado económica y logísticamente la realización en la fase experimental del trabajo. Muy especialmente a D. José María García-Aranda, Director Técnico del Departamento de Arbitraje de la FIFA, que ha dado todo tipo de facilidades para llevar a cabo la investigación.

A Carlos Morla, Óscar Carrasco y David Antona, compañeros del Laboratorio de Biomecánica del INEF de Madrid, por su ayuda en el procesamiento de los datos. Muchas gracias.

*“Football is not a science _
but science may improve the level of football”
(Jens Bangsbo, 1994a)*

*A mis padres,
por haberme dado la oportunidad de ser libre*

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
---------------------	----------

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	5
--	----------

1.1 Introducción.....	7
1.1.1 Origen y evolución del fútbol.....	7
1.1.2 Papel del árbitro y de los árbitros asistentes en el juego.....	18
1.1.3 Aproximación al conocimiento científico del fútbol.....	28
1.1.4 Hacia un modelo de análisis del rendimiento del árbitro de fútbol..	34
1.2 Revisión de la bibliografía.....	47
1.2.1 Análisis de la participación del árbitro y de los árbitros asistentes en la competición.....	49
1.2.1.1 Revisión de los métodos empleados para el registro de la participación de los deportistas en la competición.....	54
1.2.1.2 Principales resultados obtenidos.....	84
1.2.2 Respuesta fisiológica durante la competición.....	103
1.2.2.1 Obtención de la energía por la vía aeróbica.....	103
1.2.2.2 Obtención de la energía por la vía anaeróbica.....	123
1.2.3 Valoración de la condición física de los árbitros y de los árbitros asistentes.....	133

1.2.3.1 Características antropométricas.....	134
1.2.3.2 Valoración de la resistencia aeróbica.....	138
1.2.3.3 Valoración de la resistencia intermitente.....	157
1.2.3.4 Valoración de la resistencia anaeróbica.....	163
1.2.3.5 Valoración de la velocidad.....	167
1.3 Objetivos.....	169
1.3.1 Origen del trabajo.....	169
1.3.2 Hipótesis.....	170
1.3.3 Objetivos.....	171
1.3.4 Plan de trabajo.....	172
CAPÍTULO 2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	175
2.0 Introducción.....	177
2.1 Análisis de la participación en el juego.....	179
2.1.1 Técnicas de análisis biomecánico.....	181
2.1.2 Modelo teórico.....	185
2.1.2.1 Modelo del cuerpo.....	185
2.1.2.2 Modelo mecánico del movimiento.....	190
2.1.3 Técnicas de adquisición de los datos.....	201
2.1.3.1 Fotogrametría 2D.....	201
2.1.3.2 Registro de los datos.....	211
2.1.3.3 Procesamiento de los datos.....	221
2.1.3.4 Validación de la técnica de adquisición de los datos.....	234

2.1.4 Tratamiento de los datos.....	245
2.1.4.1 Filtrado e interpolación de las coordenadas.....	245
2.1.4.2 Obtención de las variables de estudio.....	247
2.1.4.3 Tratamiento estadístico.....	251
2.1.5 Diseño de la investigación.....	260
2.1.5.1 Muestra.....	260
2.1.5.2 Protocolo.....	263
2.2 Análisis de la respuesta fisiológica durante la competición.....	269
2.2.1 Introducción.....	269
2.2.2 Modelo teórico.....	272
2.2.3 Técnicas de adquisición de los datos.....	280
2.2.3.1 Monitorización del ritmo cardiaco.....	280
2.2.3.2 Registro de los datos.....	284
2.2.3.3 Procesamiento de los datos.....	286
2.2.4 Tratamiento de los datos.....	289
2.2.4.1 Obtención de las variables de estudio.....	289
2.2.4.2 Tratamiento estadístico.....	292
2.2.5 Diseño de la investigación.....	296
2.2.5.1 Muestra.....	296
2.2.5.2 Protocolo.....	299
2.3 Valoración de la condición física.....	301
2.3.1 Introducción.....	301
2.3.2 Modelo teórico.....	306
2.3.3 Técnicas de adquisición de los datos.....	314
2.3.1.1 Registro de los datos.....	314
2.3.1.2 Procesamiento de los datos.....	317

2.3.4 Tratamiento de los datos.....	318
2.3.4.1 Obtención de las variables de estudio.....	318
2.3.4.2 Tratamiento estadístico.....	319
2.3.5 Diseño de la investigación.....	320
2.3.5.1 Muestra.....	320
2.3.5.2 Protocolo.....	321
2.4 Diseño general de la investigación.....	324

CAPÍTULO 3. RESULTADOS.....	327
------------------------------------	------------

3.1 Estadística descriptiva.....	329
3.1.1 Distancia total recorrida.....	329
3.1.2 Clasificación de los desplazamientos en función de la intensidad de los mismos.....	334
3.1.3 Características del ejercicio realizado a una alta intensidad.....	341
3.1.4 Posicionamiento técnico.....	345
3.1.5 Frecuencia cardiaca.....	355
3.1.6 Valoración de la condición física.....	363
3.2 Relaciones entre las variables.....	365
3.2.1 Distancia total recorrida.....	365
3.2.1.1 Árbitros.....	365
3.2.1.2 Árbitros asistentes.....	369
3.2.1.3 Árbitros vs. árbitros asistentes.....	374
3.2.2 Clasificación de los desplazamientos en función de la intensidad de los mismos.....	377

3.2.2.1 Árbitros.....	377
3.2.2.2 Árbitros asistentes.....	383
3.2.2.3 Árbitros vs. árbitros asistentes.....	389
3.2.3 Características del ejercicio realizado a una alta intensidad.....	392
3.2.3.1 Árbitros.....	392
3.2.3.2 Árbitros asistentes.....	396
3.2.3.3 Árbitros vs. árbitros asistentes.....	398
3.2.4 Posicionamiento técnico.....	402
3.2.4.1 Distancia del árbitro a las infracciones.....	402
3.2.4.2 Distancia de los árbitros asistentes a las infracciones (fuera de juego).....	404
3.2.5 Frecuencia cardíaca.....	405
3.2.5.1 Árbitros.....	405
3.2.5.2 Árbitros asistentes.....	411
3.2.5.3 Árbitros vs. árbitros asistentes.....	417
3.2.6 Relaciones interindividuales entre los resultados de las pruebas de valoración de la condición física y el rendimiento en la competición...	424

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN..... 429

4.1 Análisis de la participación en el juego.....	431
4.2 Análisis de la respuesta fisiológica durante la competición.....	473
4.3 Valoración de la condición física.....	483

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES..... 491

5.1 Conclusiones..... 493**5.2 Pautas para la mejora del rendimiento de los árbitros y de los árbitros****asistentes..... 495****5.2.1 Perfil de la actividad..... 497****5.2.1.1 Árbitros..... 497****5.2.1.2 Árbitros asistentes..... 500****5.2.1.3 Árbitros vs. árbitros asistentes..... 502****5.2.2 Entrenamiento..... 503****5.2.3 Evaluación..... 506****5.3 Propuestas de futuro..... 509**

CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA..... 511

Glosario..... 561**Abreviaturas..... 563**

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación fue intentar determinar el perfil de exigencia que supone la tarea del arbitraje en el deporte del fútbol tanto desde el punto de vista de los árbitros como de los árbitros asistentes. Para poder lograr el citado fin se estableció un modelo de análisis del rendimiento físico en el fútbol que se estructuraba en tres aspectos diferenciados: (i) análisis de la participación del deportista en el juego, (ii) análisis de la respuesta fisiológica durante la competición y (iii) valoración de la condición física de los jueces.

La muestra de sujetos que tomaron parte en la investigación fueron los once árbitros y veintidós árbitros asistentes del máximo nivel (categoría internacional) que participaron en el Campeonato del Mundo de categoría sub-17 celebrado en Finlandia en agosto del año 2003. El análisis del juego se realizó mediante un sistema de fotogrametría 2D-vídeo que permitió la determinación de las coordenadas (x , y) que definían la posición de los deportistas en intervalos de tiempo conocidos, a partir de las imágenes de video obtenidas con tres cámaras situadas en la grada principal de los estadios. Aplicando algoritmos basados en la DLT se obtuvieron las variables que caracterizaban la intervención de los jueces en el juego en un total de doce partidos de la competición. La monitorización de la frecuencia cardíaca se llevo a cabo en distintos partidos en los que los árbitros ($n=10$) y los árbitros asistentes ($n=20$) utilizaron pulsómetros. Antes del inicio del campeonato todos los jueces debían lograr unas marcas mínimas en la batería de tests físicos empleadas por la Federación Internacional de Fútbol Asociado (FIFA) que consistía en las pruebas de carrera de 50 y 200 m y de 12 min.

La distancia recorrida por los árbitros durante los partidos tuvo un valor medio de 11.059 m. Esta distancia no se distribuyó de una manera uniforme ya que los árbitros experimentaban un descenso ($p<0.01$) de la actividad en los segundos 45 minutos de juego. En los primeros 15 min del partido, especialmente entre los minutos 6 y 10, los árbitros mostraban una mayor actividad que en el resto de períodos de juego analizados. Aproximadamente los árbitros recorrían un 30% de la distancia total a bajas velocidades (<2 m/s), un 33% a velocidades medias (trotando: 2-3,6 m/s) y el 37% restante a una elevada intensidad ($>3,6$ m/s). Sobre la distancia total, un 15% se recorría en forma de desplazamientos de espalda. La frecuencia cardiaca media (FC_{med}) durante los encuentros tuvo un valor de 157 p/min que correspondía al 83% de la frecuencia cardiaca máxima ($FC_{máx}$).

El análisis detallado de la respuesta de los deportistas a lo largo del partido permitió constatar como los árbitros experimentaban un descenso del rendimiento físico en tres momentos distintos del encuentro. Por un lado, existía un tipo de fatiga transitoria debida a la realización de ejercicio de alta intensidad en un corto período de tiempo. Tras la consecución del intervalo de 5 min de máxima actividad los árbitros experimentaban un descenso ($p<0.05$) del rendimiento físico en los siguientes 5 min en relación a la media del partido. Otra manifestación de la fatiga acontecía en los primeros minutos del segundo tiempo, en los que se observó una menor actividad en relación a los 15 min iniciales del partido. Por último, durante los segundos tiempos de los encuentros se apreció una alteración en el perfil de actividad de los árbitros: hubo una disminución de la distancia recorrida corriendo ($p<0.05$), sprintando ($p<0.05$) y de espalda ($p<0.001$) y se produjo un aumento el tiempo en el que los árbitros permanecían parados ($p<0.05$) y de la distancia a la que los árbitros señalaban las infracciones en la zona de ataque izquierda del campo ($p<0.05$). La respuesta de la frecuencia cardiaca corroboró esta tendencia,

de modo que en los segundos 45 min disminuía la FC_{med} ($p<0.05$) y el tiempo en el que los árbitros se ejercitaban por encima del 95% de la $FC_{máx}$ ($p<0.001$) y aumentaba el tiempo entre el 66 y el 75% de la $FC_{máx}$ ($p<0.05$).

Los árbitros asistentes recorrían como media durante los encuentros 6.137 m. Durante los segundos 45 min la distancia cubierta disminuía ($p<0.01$) en relación al primer período, habiéndose registrado la mayor movilidad en el cuarto de hora inicial del partido. La distribución de los esfuerzos por categorías reveló como el 49% de la distancia era recorrida a bajas velocidades, el 31% a una intensidad media y el restante 20% correspondía al ejercicio de intensidad elevada. Sobre la distancia total, un 32% se recorría en forma de desplazamientos laterales. La FC_{med} durante los partidos tuvo un valor de 145 p/min (77% de la $FC_{máx}$).

Al igual que sucedía con los árbitros, tras el descanso se pudo apreciar una alteración del patrón de esfuerzos: aumentaba el tiempo en el que el deportista permanecía parado ($p<0.01$) y disminuía la distancia recorrida en forma de trote ($p<0.05$) y de carrera de frente y desplazamientos laterales ($p<0.01$). La FC_{med} también se vio reducida tras el descanso ($p<0.01$) por el aumento de los esfuerzos entre el 66 y 75% de la $FC_{máx}$ ($p<0.01$) y por la disminución de la actividad que exigía más del 85% de la $FC_{máx}$ ($p<0.001$).

La distancia lograda por los árbitros en la prueba de carrera de los 12 min no mostró una correlación significativa ($p>0.05$) con la distancia total recorrida en los partidos ($r=0,23$) ni con el tiempo empleado en esfuerzos a una elevada intensidad ($r=0,54$). Tampoco se pudo observar una correlación significativa ($p>0.05$) entre la marca de los árbitros en la prueba de los 200 y 50 m y la cantidad de ejercicio a una alta intensidad realizado durante los encuentros ($r=-0,23$ y $r=-0,03$).

respectivamente). En el caso de los árbitros asistentes, el registro logrado en la prueba de los 12 min tampoco se correlacionó de un modo significativo ($p>0.05$) con la distancia total recorrida ($r=0,24$) ni con el tiempo empleado en esfuerzos a alta velocidad ($r=0,35$) durante los partidos. El rendimiento de los árbitros asistentes en la prueba de los 50 m no se correlacionó con los esfuerzos a una elevada intensidad durante los encuentros ($r=0,38$; $p>0.05$).

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación avalan la utilización de la técnica experimental desarrollada para el análisis de la actividad cinemática de los deportistas en el fútbol. Su aplicación en una competición del máximo nivel ha permitido describir el perfil de exigencia que supone el arbitraje constatando como los árbitros y, en menor medida, los árbitros asistentes experimentan una reducción del desempeño físico en distintos momentos de los partidos. Además, se ha podido demostrar como las pruebas empleadas por la FIFA para valorar la condición física de los jueces no se relacionan con el rendimiento físico en la competición.

SUMMARY

The aim of this research was to determine the demands placed on association football match officials' regarding both referees and assistant referees. In order to accomplish with this objective, a physical performance analysis model was developed focusing on: (i) kinematical match-analysis of sportsmen during real match-play, (ii) physiological response during the games, and (iii) performance in the fitness tests.

The eleven referees and twenty-two assistant referees (all of them international-level officials) that took part in the under-17 World Championship held in Finland in august 2003 were the participants of the study. Match-analysis was carried out with a bidimensional photogrammetric video-system that allowed determining the coordinates (x, y) of points in the plane after images obtained from three videocameras positioned at the main stand of the stadiums. The kinematical parameters of officials' displacements were obtained after DLT based algorithms on twelve competitive matches. Heart rate was recorded during the games in referees ($n=10$) and assistant referees ($n=20$) using heart rate monitors. Before the start of the tournament all the officials had to pass the battery of fitness tests adopted by the Federation Internationale de Football Association (FIFA) which consisted of a 50 and 200 metres sprint test and a 12 minute running test.

Mean distance covered by the referees during the matches was 11059 meters. This distance was not uniformly distributed as there was an activity decrease ($p<0.01$) after half-time. On the first 15 minutes of match-play, specially from minutes 6 to 10, the referees reached peak mobility. Aproximately, 30% of total match distance was

covered at low speed movements (<2 m/s), 33% at medium velocities (jogging; 2-3,6 m/s) and the remaining 37% at higher intensities (>3,6 m/s). Backwards movements accounted for 15% of total distance travelled. Mean heart rate during the games was 157 b/min, which corresponded to 83% of the maximal heart rate (HR_{max}).

Detailed match-analysis revealed that referees developed fatigue at three different stages of the games. After the 5 minute period where they performed the most high-intensity exercise there was a decrease ($p<0.05$) in performance in relation to the average of the match, indicating that referees can experience temporary fatigue during the game. Secondly, in the first 15 minutes of the second half there was also a decrease in performance in comparison with the initial part of the match. Lastly, during the second halves there was an activity profile alteration as distance running ($p<0.05$), sprinting ($p<0.05$) and moving backwards ($p<0.001$) decreased at the same time as time spent standing still ($p<0.001$) and distance from infringements in the left attacking zone of the field ($p<0.05$) increased. Heart rate recordings reinforced this data as mean heart rate decreased ($p<0.05$) in the second 45 minutes and time spent by referees between 66-75% HR_{max} ($p<0.05$) and exceeding 95% HR_{max} ($p<0.001$) increased.

Assistant referees' mean distance travelled during the matches was 6137 meters. There was a reduction of mobility in the second 45 minutes; peak mobility was reached on the first 15 minutes of match-play. Category displacements analysis determined that 49% of total distance was covered at low speed movements, 31% at medium intensities and 20% at high velocities. Distance travelled in lateral movements represented 32% of total distance. Mean heart rate during the games was 145 b/min (77% of HR_{max}).

As it happened with the referees, after halftime the effort profiling was modified: time spent standing still increased ($p<0.01$) and distance covered jogging ($p<0.05$), cruising and with lateral movements ($p<0.01$) decreased. Mean heart rate was also reduced ($p<0.01$) in the second period as time spent between 76 and 85% of HR_{max} increased ($p<0.01$) and time spent exceeding 86% of HR_{max} decreased ($p<0.001$).

Distance covered by the referees in the 12 minute running test was not significantly correlated ($p>0.05$) to total distance covered during the matches ($r=0.23$) and to time spent performing high-intensity activities ($r=0.54$). Referees' performance in the 200 and 50 metres sprint tests was not significantly correlated ($p>0.05$) to high-intensity activities during match-play ($r=-0.23$ and $r=-0.03$, respectively). There was no significant correlation ($p>0.05$) between the score of the assistant referees in the 12 minute running test and distance covered ($r=0.24$) and time spent within the high-intensity category ($r=0.35$) during the games. Finally, the time to complete the 50 metres sprint was also not significantly correlated with the time spent by assistant referees moving at high intensities ($r=0.38$; $p>0.05$).

The results obtained in this study support the use of the bidimensional photogrammetric video-system developed for match-analysis. The application of this tool has allowed to determine the activity profile of officials showing that referees and, to a less extend, assistant referees can experience fatigue during a football match. Additionally, it can be concluded that the fitness tests adopted by FIFA are not correlated to officials' physical match performance.

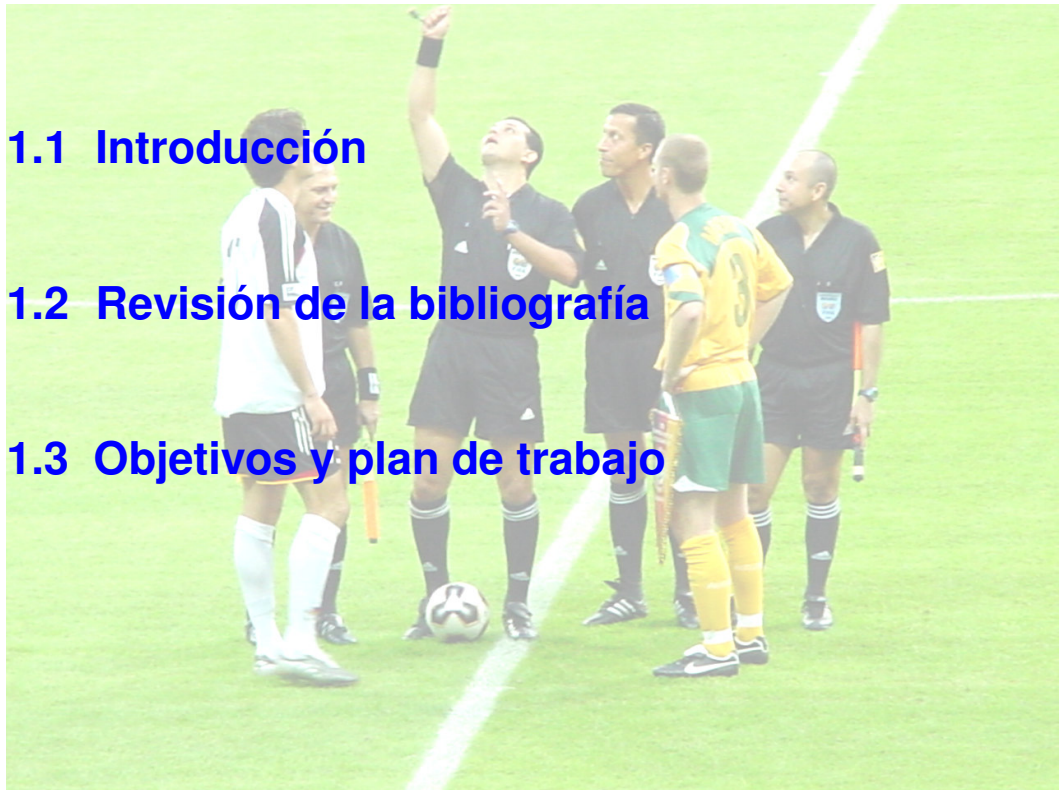
Capítulo 1.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

1.2 Revisión de la bibliografía

1.3 Objetivos y plan de trabajo



1.1 Introducción

1.1.1 Origen y evolución del fútbol

El deporte es uno de los rasgos característicos de las sociedades contemporáneas desarrolladas, puesto que se trata de una forma de expresión del ser humano, aunque su origen en el tiempo es muy remoto.

Según Popplow, las primeras referencias sobre la realización de ejercicio físico datan de la época del Paleolítico Medio y se muestran bajo la forma de la danza con fines espirituales (Ueberhorst, 1986). La práctica de ejercicio físico fue sufriendo una regulación paulatina y su importancia social aumentando en sociedades ancestrales como China, Grecia o Roma, aunque el origen del llamado deporte moderno se encuentre en Inglaterra en el siglo XIX.

La evolución etimológica del término deporte en España se remonta al siglo XI donde se utilizan palabras con la raíz “deport” en distintos textos con el significado de diversión (Piernavieja, 1967). Aunque durante varios siglos esta voz castellana deja de utilizarse en el siglo XIX la palabra deporte es recuperada para traducir el vocablo inglés “sport” empleada por los nobles ingleses para definir sus prácticas deportivas.

Las características distintivas del deporte, expuestas de manera común por los autores que han abordado el estudio del tema, son la consideración de ser una situación motriz, el carácter de juego, la existencia de una competición, el

comportamiento ajustado a un serie de reglas y su institucionalización (federaciones que fijan el desarrollo y los reglamentos) (Hernández Moreno, 1994). En la actualidad, el deporte recibe un tratamiento tanto de fenómeno social como cultural, teniendo tres ámbitos diferentes de actuación: el rendimiento, el ocio y la educación (Merino, 1996).

Si existe un deporte que, hoy en día, moviliza en mayor medida a las sociedades occidentales, ése es, sin duda, el fútbol. El origen del deporte del fútbol es difuso y variado, puesto que lo que hoy se conoce como fútbol es el resultado de una larga evolución, que integra las influencias de distintos juegos en los que se utilizaban las manos y los pies para desplazar un móvil hacia unas zonas de marca prefijadas. El término fútbol englobaba en su concepción inicial a todos estos juegos de pelota que a partir de mediados del siglo XIX adquirieron personalidad propia y derivaron en prácticas como el fútbol asociación (lo que en España se conoce como fútbol), el rugby, el fútbol gaélico, el fútbol americano o el fútbol australiano.

Diversos países han reclamado la paternidad del fútbol a través de la práctica de estos juegos de pelota característicos de las culturas primitivas. Cada uno de estos juegos parece guardar algún rasgo común con lo que actualmente se conoce como fútbol aunque, en este momento, no se puede determinar con exactitud el origen concreto de este deporte por lo que es necesario atender a una serie de sucesos cronológicos para comprender mejor la evolución del juego.

Los juegos de pelota tradicionales predecesores del fútbol

En el siglo XIX, el antropólogo suizo Bachofen (Gispert, 1981) descubrió en unas cuevas de Nueva Guinea unos grabados que aparentemente representaban a un hombre persiguiendo o golpeando con sus pies objetos redondeados. La interpretación antropológica de este tipo de representaciones resulta complicada debido a la escasez de referencias sobre la época que dificulta la diferenciación entre las actividades físicas realizadas con fines lúdicos de aquéllas enfocadas a la supervivencia humana.

Es por esto que uno de los orígenes más aceptados del juego del fútbol se sitúe en la zona de la actual China, unos 25 siglos a.C. (Gispert, 1981). Este juego original chino recibía el nombre de “tsu chu” (Dunning, 1994) y estaba ligado al adiestramiento militar. Dos equipo peleaban por la posesión del balón y debían dirigirlo hacia la zona de meta utilizando las manos y los pies. El juego era practicado por soldados para demostrar su valentía de ahí que su desarrollo fuese extremadamente duro, violento y agresivo.

Un juego semejante, denominado “kemari” (Gerhardt, 1979) fue practicado en Japón en una etapa más tardía, aunque en este caso los objetivos del juego tenían una carácter antagónico a los de China, puesto que se trataba de un juego lúdico y placentero. El balón debía ser llevado a una zona de marca utilizando las manos o los pies sin que la pelota tocara el suelo (Reilly, 2003). El juego se desarrollaba en armonía con el ambiente, de ahí que los partidos se celebrasen en un terreno cuadrado de 20 m de lado y que en cada una de las esquinas hubiese un árbol plantado simbolizando cada uno de ellos una virtud (Gispert, 1981).

La época de la Grecia clásica muestra un enorme desarrollo del fenómeno deportivo debido a que en esta etapa se practicaban distintos juegos de pelota, principalmente bajo la forma de asociación, empleándose las manos para desplazar el móvil. De entre las distintas especialidades deportivas existentes destaca el “episkyros”, en la que se enfrentaban dos equipos de doce jugadores con la finalidad de traspasar la línea de meta rival trasladando una pelota el mayor número de veces (Diem, 1966, en Gispert, 1981).

Roma heredó este juego griego y lo transformó en una versión más violenta denominada “haspartum”. Aquí, los equipos podían estar formados por un número variable de jugadores y el objetivo era llevar el balón hasta la línea de anotación del equipo rival. El matiz de violencia venía dado porque los jugadores podían utilizar manoplas para el juego y golpear con ellas a sus rivales. Este carácter agresivo del juego hizo que fuese empleado por los legionarios romanos como forma de adiestramiento físico y pasatiempo (Gispert, 1981).

En la Edad Media, en el siglo XI, se practicaba un juego en la región de Normandía y Bretaña de la actual Francia denominado “chuole” o “soule”, que consistía en pasar un balón por una línea de meta utilizando los pies y en algunas ocasiones, las manos u otras partes del cuerpo. Este juego tuvo una enorme difusión lo que motivó su prohibición en 1319 y 1369 por los monarcas reinantes aunque posteriormente se siguió practicando hasta el siglo XIX.

El Renacimiento Italiano dio lugar a la práctica en la ciudad de Florencia, en los primeros años del siglo XV, del llamado “gioco del calcio” (Gispert, 1981) que habitualmente se disputaba en las plazas de la ciudad. El número de componentes de cada equipo era variable, aunque lo habitual era una formación de 27 jugadores

que se distribuían en forma de cuña: 15 delanteros, 5 medios, 4 tres-cuartos y 3 defensas. Los jugadores debían manejar el balón con el pie y aunque podían agarrarlo con la mano no podían lanzarlo. Pese a la posibilidad de sujetar y golpear a los contrincantes se instauró la figura de los árbitros, 6 en total, que se colocaban sobre una tribuna lateral construida al efecto para controlar el correcto desarrollo del juego que era seguido por numerosos espectadores por que las competiciones eran organizadas por las grandes familias de la época.

Existen también referencias sobre la práctica de diversos juegos con balón en América desde tiempos ancestrales, según la información recogida a partir de la llegada de los conquistadores europeos a finales del siglo XV y durante el siglo XVI. Estos juegos se practicaban a lo largo de todo el continente americano desde Canadá hasta Argentina teniendo una especial repercusión en el territorio azteca (Gispert, 1981). Se pueden encontrar formas jugadas semejantes en otras culturas (Eisenberg *et al.*, 2004) como el “kalagut” disputado por los esquimales, el “lapta” ruso o el “hornusse” suizo que contaban con características propias y podrían formar parte de la versión pretérita del fútbol.

Gran Bretaña, cuna del fútbol

La llegada del fútbol a Gran Bretaña se ampara en una leyenda (Macdonald, 1977) en la que tras un fallido desembarco vikingo en las costas cercanas a Kingston-on-Thomas, el jefe invasor fue matado y decapitado, iniciándose el juego con la cabeza de la víctima. En el siglo VIII, en la festividad de Carnaval se celebraba un juego en el que participaban equipos compuestos hasta por 200 jugadores que debían trasladar un esférico hasta una meta fijada (Dunning, 1994). En ocasiones, los

partidos se disputaban entre distintas poblaciones siendo el objetivo llevar la pelota con los pies hasta la aldea vecina estando prohibido tocarla con las manos.

Distintos juegos fueron practicados en esta etapa medieval en Gran Bretaña, presentando todos ellos la característica común de representar un enfrentamiento entre dos bandos por la disputa del traslado de un móvil hasta una meta fijada. Este tipo de juegos carecían de un reglamento común que unificase las distintas prácticas agonistas, lo que daba lugar a pequeñas diferencias en cuanto al desarrollo de los mismos y que según las zonas en las que se practicaban y las reglas del juego empleadas se denominaban “hurling”, “camp ball”, “knappan” o “bottle-kicking” (Dunning, 1994).

Según Dunning (1994), existen evidencias de la práctica de un juego denominado fútbol en Gran Bretaña a partir del siglo XIV. Entre 1314 y 1660 los monarcas prohibieron hasta en treinta ocasiones la práctica de este deporte porque representaba una pérdida de tiempo para los ciudadanos y una alteración del orden público lo que permite dar un idea de la importancia social que llegó a alcanzar el juego en esta época. Otro de los motivos esbozado por los monarcas para la prohibición del juego era que alejaba a los ciudadanos del entrenamiento militar. A pesar de estas restricciones el juego siguió practicándose en los monasterios lo que permitió su supervivencia a lo largo de los siglos.

En el momento actual se considera a Gran Bretaña como el embrión del deporte moderno y para llegar a esta afirmación resulta necesario interpretar los cambios sociales acontecidos en este lugar del mundo tras la Revolución Industrial. Estos cambios se traducen en una magnificación de las desigualdades sociales mientras

que se produce una migración de las personas desde el campo hacia las ciudades, facilitando el desarrollo de las mismas (Gispert, 1981).

Dunning (1994) hace referencia a dos procesos que ocurrieron durante los siglos XVIII y XIX y que provocaron el desarrollo autónomo del fútbol en Inglaterra. Por una lado existió una marginación del fútbol por parte de las clases sociales altas que rechazaban la práctica de dicho deporte por su carácter violento. Esto hizo que, tras la Revolución Industrial, el fútbol fuese practicado principalmente por los obreros. Paralelamente a esta marginación cultural del fútbol por las clases elevadas se crearon nuevas formas jugadas de fútbol en las escuelas públicas, en consonancia con los cambios sociales de la época, que iban en la dirección de la formación de un estado y en el proceso de civilización social (Dunning, 2000).

El aumento de la práctica del deporte del fútbol en las escuelas públicas facilitó el desarrollo del mismo aunque cada escuela tenía sus propias normas o códigos que regulaban la práctica de “su” fútbol. En los primeros años del siglo XIX los alumnos que acudían a estas escuelas públicas pertenecían a las clases sociales más acomodadas. Esto dio lugar a que en dichas instituciones prevaleciese la autoridad de los alumnos sobre los maestros, que eran de clases sociales inferiores, lo que se tradujo en la aparición de múltiples episodios de indisciplina (Dunning, 2000).

La ascensión en la escala social de la clase burguesa tras la Revolución Industrial, permitió el desarrollo de un sistema de control dual basado en la figura del precepto (Dunning, 2000). Esta nueva jerarquía propició que los maestros recuperasen su cuota de autoridad en sus relaciones con los alumnos y favoreció el desarrollo de formas de juego regladas (Wahl, 1997). Un ejemplo de esta nueva estructura escolar viene representado por la figura de Thomas Arnold, que en el año 1828 fue

designado director de la Escuela de Rugby. Arnold abogaba por la práctica del fútbol y de otras actividades físicas que alejasen a los alumnos de hábitos insanos de vida, como la bebida o las apuestas (Macdonald, 1977), por lo que utilizó el deporte con una finalidad educativa moral entre los alumnos.

Estos cambios pedagógicos influyeron en que durante la década de los años cuarenta del siglo XIX se practicase el deporte como una forma de ocio en la universidad. El auge en la práctica del fútbol hizo necesaria la unificación de las reglas del juego para permitir el enfrentamiento de distintas escuelas entre sí. Las primeras normas que regulaban la práctica del deporte fueron redactadas por la escuela pública de Rugby en 1845 (Dunning, 1994). Dos años más tarde se redactaron otras normas por la escuela de Eton, que diferían sustancialmente de las anteriores y que esbozaban ya la diferencia entre dos juegos que se asentarían definitivamente en los años posteriores: el rugby y el fútbol. Esta versión inicial del deporte sin uso de las manos se denominaba “dribbling game” (Wahl, 1997).

Quedaban de esta manera expuestas las primeras diferencias en cuanto a la práctica del juego, existiendo dos códigos distintos de fútbol. Uno de estos códigos unificó en el año 1848 sus reglas en el Trinity College de la universidad de Cambridge, haciendo referencia a la no rudeza en el juego y a la prohibición de utilizar las manos para trasladar la pelota. Las universidades que tenían una concepción distinta del deporte tomaron las reglas de la universidad de Rugby que permitían transportar el balón con la mano y agarrar, golpear y zancadillear al contrario.

El 26 de octubre de 1863 se fundó la “Football Association” (FA, Fútbol Asociado, que se conoce en la actualidad como Federación Inglesa de Fútbol), en una reunión

en la que participaron los once representantes de las universidades y sociedades pioneras del fútbol que se celebró en la Freemasons Tavern de Londres. Tras diversas sesiones se redactaron las catorce reglas del deporte (“The Laws of the Game”), que hasta la fecha actual se han mantenido sustancialmente sin alterar. En la última sesión celebrada el 8 de diciembre de 1863 los representantes de la universidad de Blackheath se retiraron de la firma del acuerdo, al no estar de acuerdo con la normativa que iba a ser aprobada (Macdonald, 1977). Este hecho representó la escisión definitiva entre el fútbol y el rugby. Los detractores de esta resolución formaron la “Rugby Union” (Unión de Rugby, que representa la Federación de Rugby en la actualidad) en 1871.

Eisenberg *et al.* (2004) destacan tres factores que tuvieron una influencia decisiva en la consolidación del fútbol como deporte independiente a partir de la figura de Charles Alcock, secretario de la FA. En primer lugar, la redacción de un código de reglas uniformes y su difusión a través de los periódicos de la época. El segundo factor de gran importancia fue considerar el fútbol como un deporte menos violento que el rugby, que provocaba un menor número de lesiones a los practicantes y así éstos evitaban ausentarse de los trabajos. Por último, el desarrollo de competiciones regladas, en especial la Copa de Inglaterra, fue lo que definitivamente asentó al deporte.

El primer club de fútbol fundado fue el Sheffield Football Club en 1857 y la primera competición oficial organizada fue la Copa de la Federación Inglesa (“FA Challenge Cup”), en el año 1871, que fue ganada por el equipo Wanderers en la final de la edición que concluyó en 1872. La Liga Inglesa se instauró en el año 1888, resultando vencedor en la temporada 1888-89 el equipo Preston North End.

En el año 1904 se fundó la Federación Internacional de Fútbol Asociado (FIFA) y dos años más tarde se disputó el primer partido internacional entre las selecciones nacionales de Inglaterra y Francia (Eisenberg *et al.*, 2004), aunque ya desde 1870 se habían disputado partidos internacionales no oficiales entre las selecciones de Inglaterra y Escocia. Precisamente, el enfrentamiento entre las selecciones nacionales de estos dos países en Partick, el 30 de noviembre de 1872, se considera como el primer partido oficial internacional. El fútbol formó parte del programa de los Juegos Olímpicos de Londres 1908, resultando campeón la selección de Inglaterra que venció en la final a la selección de Dinamarca (Gispert, 1981).

La llegada del fútbol a España se remonta a finales del siglo XIX, bajo la notable influencia de los ciudadanos británicos llegados a la Península Ibérica. El primer equipo en ser fundado refleja claramente esta descendencia anglosajona en su nombre: “Recreation”, fundado en una ciudad con puerto marítimo, Huelva, en el año 1889 (Martínez, 2001). El primer partido oficial celebrado en España se disputó en la ciudad de Sevilla el 8 de marzo de 1890 y enfrentó al equipo hoy denominado Recreativo de Huelva con un conjunto formado por miembros de la colonia inglesa de la ciudad hispalense. La Federación Española de Fútbol se fundó en 1913 y un año más tarde ingresó en la FIFA.

A lo largo de todo el siglo XX el deporte del fútbol ha seguido desarrollándose a ritmo frenético. La FIFA ha sido la principal impulsora de las competiciones a nivel mundial, habiéndose celebrado hasta la fecha diecisiete ediciones de Campeonatos Mundiales de Fútbol (desde Uruguay 1930 a Corea-Japón 2002). Al mismo tiempo, la FIFA también ha controlado la competición de fútbol en los Juegos Olímpicos y

ha organizado Campeonatos Mundiales de Fútbol para la categoría Juvenil (en la actualidad categorías sub-20 y sub-17) y de fútbol femenino.

Uno de los objetivos principales que persigue la FIFA es el acercamiento del deporte del fútbol a todos los rincones del mundo fomentando la participación de todos los países en su práctica y utilizando el propio deporte como una vía para la mejora de las condiciones de vida en los países más desfavorecidos. En la actualidad, la FIFA está compuesta por 207 asociaciones nacionales⁽¹⁾. Con el fin de globalizar la práctica del fútbol, el número de países participantes en las fases finales de los Campeonatos del Mundo ha aumentado desde los trece equipos iniciales del año 1930 a las treinta y dos selecciones participantes en el año 2002.

La FIFA controla el desarrollo del fútbol como deporte de alta competición y fomenta la práctica del fútbol como deporte educativo. El número total de practicantes con licencia federativa en el año 1984 era de unos 60 millones de personas en todo el mundo (Ekblom, 1986), aunque, hoy en día, las estimaciones sobre la cantidad de personas que practican el fútbol se eleva a los 240 millones de participantes activos, que se distribuyen en 1,5 millones de equipos y 300.000 clubes por todo el Planeta⁽²⁾.

Los sistemas económicos y la publicidad también se han interesado por el fútbol como espectáculo por el poder de atracción comercial que representa. Por poner un ejemplo de la enorme repercusión que tiene el deporte del fútbol la audiencia televisiva del Campeonato del Mundo de Italia 1990 fue el doble que la de los

⁽¹⁾ Consulta realizada en la world wide web (<http://www.fifa.com/es/organisation/na/index.html>) el 2 de diciembre de 2005.

⁽²⁾ Consulta realizada en la world wide web (<http://www.fifa.com/es/marketing/index.html>) el 2 de diciembre de 2005.

Juegos Olímpicos de Seúl en 1988 (Tumilty, 1993), mientras que la del Campeonato del Mundo de Francia 1998 se estimó en 40.000 millones de personas (Hillis, 1998). La señal de televisión del último Mundial celebrado en Corea y Japón fue transmitida a 213 países para un volumen global de 28.800 millones de espectadores. Más de 2,7 millones de espectadores asistieron en persona a los 64 encuentros del citado campeonato⁽³⁾.

Todos estos factores contribuyen a resaltar la enorme trascendencia social del deporte del fútbol, tanto a nivel educativo como competitivo e invitan a profundizar en el conocimiento de algunos de los parámetros que componen la estructura del juego, objetivo del presente trabajo de investigación.

1.1.2 Papel del árbitro y de los árbitros asistentes en el juego

El reglamento es uno de los parámetros estructurales de todos los deportes (Sampedro, 1999), engloba una serie de normas o reglas que determinan el desarrollo de la acción de juego y condicionan la lógica interna del propio deporte, los comportamientos técnico-tácticos de los deportistas, su relación con los compañeros y adversarios además de con el balón y con el espacio y determina el sentido y el espíritu del juego (Hernández Moreno, 1994; Castelo, 1999).

En el caso del fútbol, el desarrollo del reglamento fue un requisito imprescindible para la autonomía y diferenciación del juego respecto a otros deportes con una raíz

⁽³⁾ Consulta realizada en la world wide web (<http://www.fifa.com/es/organisation/na/index.html>) el 2 de diciembre de 2005.

genealógica semejante. En diciembre de 1863 se redactó un reglamento compuesto por catorce reglas básicas denominado “The Laws of The Game” (Las Leyes de Juego), que fue ampliado a las diecisiete reglas actuales en 1898 y concretado en su forma presente por Stanley Rous, secretario de la Federación de Fútbol Internacional, en 1938.

Existe una cierta unanimidad por parte de los autores que se han ocupado del estudio de la reglamentación de los deportes de equipo, entre ellos Menaut (1982) (en Pino, 2002) o Bayer (1986), en dividir los citados reglamentos en dos bloques: formal y funcional al que se podría añadir un tercero de carácter cuasi-moral (Hernández Moreno, 1994).

El primero de los bloques especifica una serie de rasgos comunes a todos los deportes de equipo, referidos al aspecto formal del juego, como serían las dimensiones del terreno de juego, el número de participantes, la forma de consecución de los tantos, etc. El segundo de los bloques refleja el desarrollo de la acción de juego (formas de relacionarse con los compañeros, penalizaciones, etc.), y en el último de los bloques se encuadra una serie de normas y valores de carácter implícito a la práctica deportiva, que no necesariamente deben de estar expresadas por escrito en el reglamento, ya que se consideran inherentes al “fair-play” (juego limpio) en el deporte.

Las diecisiete reglas o leyes que conforman el reglamento vigente de la FIFA se han ido desarrollando progresivamente y adaptando a la evolución del propio deporte. Para deliberar sobre posibles cambios en las reglas del juego y para definir la labor de los árbitros se creó en Londres en el año 1882 una comisión denominada “International Football Association Board” (IFAB) (Eisenberg *et al.*,

2004). Esta Junta Internacional del Fútbol Asociado estaba compuesta inicialmente por los delegados de las federaciones de fútbol de Inglaterra, Escocia, Gales e Irlanda, aunque desde el año 1913 se le añadieron también delegados de la FIFA, que actualmente ostentan cuatro de los ocho votos totales a la hora de realizar cualquier tipo de sufragio interno (Eissmann, 1994). El objetivo inicial de esta junta era desarrollar un código uniforme, aunque desde sus orígenes se preocupó en la formación de los árbitros, con vistas a la competición de liga que se puso en marcha en 1888.

Esta comisión tiene actualmente la capacidad legislativa sobre el desarrollo del fútbol y se reúne con una periodicidad anual. Aunque el reglamento del fútbol está cuidadosamente detallado y respeta la mayor parte de las reglas iniciales del juego, la IFAB introduce en las reglas pequeños matices periódicamente con el objetivo de adaptarlo a las exigencias actuales intentando preservar siempre el espíritu de las normas originales del juego.

Un ejemplo de este tipo de decisiones sería la posibilidad de utilizar en los partidos de competición oficial un terreno de juego cuya superficie sea de hierba artificial. Este tipo de propuestas generalmente reciben un tratamiento experimental en alguna competición menor, como sucedió durante el Campeonato Mundial Sub-17 de la FIFA celebrado en Finlandia en agosto de 2003 en el cual se desarrolló el presente trabajo de investigación.

A partir de la consulta de diversos manuales sobre la historia del fútbol (Golesworthy, 1976; Macdonald, 1977; Gerhardt, 1979; Gispert, 1981; Morris, 1982; Dunning, 1994; Eisenberg *et al.*, 2004), se puede establecer la siguiente cronología de los aspectos más relevantes sobre el desarrollo de las reglas del juego, si bien

en algunas de las modificaciones realizadas sobre las normas, existen divergencias sobre el año exacto en las que se llevaron a cabo.

- **1863:** Redacción de las Leyes de Juego iniciales.
- **1866:** Se decide colocar una cinta horizontal a una altura de 5,50 m entre los dos postes de la portería.
- **1866:** La regla del fuera de juego establece que entre el jugador atacante y la portería debe haber, al menos, tres jugadores defensores. Se fija la duración de los partidos en 90 min.
- **1869:** Se establecen los lanzamientos libres directos y los saques de meta.
- **1870:** Se establecen unas nuevas dimensiones del terreno de juego: 182,85 x 91,43 m.
- **1871:** Aparece la figura del portero por primera vez en las reglas. El portero puede tocar el balón con las manos en el área de meta.
- **1872:** Se especifica el peso y el tamaño del balón. Se introduce el lanzamiento de esquina.
- **1874:** Se hace referencia por vez primera en el reglamento a la figura de un árbitro ("umpire"), que debe colocarse fuera del campo.
- **1875:** Las porterías toman las medidas actuales y el larguero reemplaza a la cinta entre los postes. Se cambia de campo entre períodos de juego y no después de cada gol.
- **1878:** Los árbitros utilizan por primera vez el silbato para controlar el juego.
- **1880:** Se permite que los árbitros puedan expulsar a jugadores.
- **1882:** Se instaura el saque de banda con las dos manos (antes se realizaba con el pie).
- **1886:** El saque inicial debe realizarse hacia adelante. El código de la asociación de Sheffield refleja los libres indirectos.

- **1890:** Se utilizan redes en las porterías. Se marca con cal las áreas.
- **1891:** La figura antigua del “umpire” es sustituida por un árbitro y dos jueces de línea. Los árbitros pueden entrar dentro del terreno de juego. Introducción del penalty.
- **1894:** El árbitro recibe plena autoridad para el control del juego.
- **1895:** Se establece un grosor de 12 cm para los postes y el larguero de las porterías. No se permite la carrera previa en el saque de banda.
- **1897:** Se establece el matiz de intencionalidad en el juego del balón con la mano.
- **1898:** Las reglas iniciales alcanzan las diecisiete actuales. Se prohíbe el gol directo desde el lanzamiento de un saque de banda.
- **1899:** El número de jugadores con los que cada equipo puede formar se unifica en once.
- **1901:** El portero puede tocar el balón con la mano en todo el área de penalty. Se establece la línea frontal del área de penalty.
- **1902:** Se modifican las áreas, haciéndolas rectangulares y aumentando sus dimensiones.
- **1905:** En el lanzamiento de penalty el portero debe permanecer en la línea de gol.
- **1906:** Se permite un breve descanso entre los períodos de juego.
- **1907:** Un jugador que parte desde su propio campo no está en posición de fuera de juego.
- **1912:** El portero no puede tocar el balón con la mano fuera del área de penalty.
- **1913:** En los lanzamientos de faltas, la distancia a la que debe colocarse la barrera se aumenta de 8 a 10 m.

- **1914:** En los lanzamientos de esquina la distancia de los oponentes debe ser al menos de 10 m.
- **1919:** El árbitro debe vestir de un color distinto al de los jugadores.
- **1920:** Tras los saques de banda los atacantes no pueden estar en posición de fuera de juego.
- **1924:** Se permite la consecución de un gol directo tras el lanzamiento de esquina. En caso de la existencia de un jugador lesionado el árbitro puede detener el juego. Un jugador que no interviene en la jugada no está en posición de fuera de juego.
- **1925:** Se reduce de tres a dos el número de defensores que marcan la posición de fuera de juego. En los saques de banda el jugador debe tener los dos pies sobre la línea de banda en el momento del saque.
- **1929:** En los lanzamientos de penalty los porteros deben permanecer quietos sobre la línea de gol.
- **1931:** El portero puede dar hasta cuatro pasos con el balón en las manos (antes sólo podía dar dos como máximo).
- **1935:** Se prueba la norma de introducir dos árbitros para controlar el juego en partidos amistosos pero se desecha más tarde.
- **1937:** Se establece el arco frontal del área de penalty.
- **1939:** Se establece un número fijo de jugadores titulares y suplentes.
- **1950:** Se considera que las líneas que delimitan el campo forman parte activa del terreno de juego.
- **1951:** Se introduce el uso del balón blanco.
- **1956:** Se utiliza por vez primera la iluminación artificial en un partido de fútbol.

- **1958:** Se autoriza la sustitución de un jugador lesionado por un jugador suplente. Esta norma queda a potestad de ser aplicada por cada asociación nacional.
- **1965:** Se autoriza la sustitución de un jugador lesionado por un jugador suplente para todas las asociaciones.
- **1966:** Las sustituciones de jugadores pueden realizarse por cualquier motivo.
- **1970:** Se utilizan por primera vez las cartulinas, el color negro en la vestimenta de los árbitros y los banderines por los jueces de línea. Los equipos pueden realizar dos cambios independientemente del motivo de los mismos.
- **1976:** Los árbitros pueden utilizar las tarjetas amarillas (amonestaciones) y las tarjetas rojas (expulsiones) para el control del juego.
- **1982:** Se prohíbe al portero coger el balón con la mano después de soltarlo.
- **1992:** No se señala posición de fuera de juego cuando el atacante está en línea con el penúltimo defensor. Se señala libre indirecto cuando un jugador cede voluntariamente el balón a su portero para que lo atrape con las manos.
- **1995:** Cada equipo puede realizar hasta tres sustituciones por partido.
- **1996:** El portero no puede coger un balón que le ha sido enviado por un compañero desde saque de banda.
- **2000:** El portero tiene 6 s para sacar de portería.

Mientras que la FIFA, y dentro de ella la IFAB, se encargan del desarrollo del reglamento y las normas del deporte del fútbol los árbitros son los encargados de velar por el cumplimiento de las mismas dentro del propio deporte.

Los árbitros representan la máxima autoridad en el terreno de juego. Aunque la figura del árbitro aparece reflejada en juegos de pelota en la Edad Media, como el “calcio Fiorentino”, resulta complejo determinar con exactitud su aparición en la versión moderna del deporte del fútbol. Macdonald (1977) y Dunning (1994) hacen referencia a que el origen de la figura del árbitro en las reglas se remonta al año 1880 y la de los jueces de línea –hoy en día denominados árbitros asistentes- a 1891, aunque existen menciones previas en el reglamento a otros tipos de roles arbitrales auxiliares (Moreno, 1999).

Desde el año 1867 (Golesworthy, 1976), existe la presencia de los llamados “umpires” (árbitros) en los partidos disputados en el Cheltenham College en una forma de juego más parecida al rugby. Antes del inicio de los encuentros, el capitán de cada equipo seleccionaba un “umpire” y otras dos personas elegidas se situaban a cada lado del terreno de juego. Estos jueces incipientes no intervenían en el desarrollo del juego a no ser que fuesen requeridos por los propios practicantes para resolver alguna situación de conflicto. Esto es debido a que, en la concepción primitiva del deporte, al ser una disputa entre caballeros, no se realizaban faltas entre los mismos (Macdonald, 1977).

No es hasta el año 1871 cuando aparece mencionada por primera vez la figura del árbitro en un reglamento, aunque en este caso se tratase del correspondiente al del torneo de la Copa de la Federación Inglesa (Golesworthy, 1976). El Comité de Competición designaba dos “umpires” y un árbitro para las eliminatorias finales del campeonato que no podían pertenecer a ninguno de los equipos contendientes. La decisión de los “umpires” representaba la definitiva, salvo que existiese un desacuerdo entre ambos jueces, en cuyo caso la decisión final correspondía al

árbitro, por lo que su función era meramente consultiva, debiendo ser neutral en relación a los equipos participantes.

En 1874 aparece por primera vez especificada la función de los “umpires” en las Leyes de Juego, aunque hasta 1880 no recogen la figura de los árbitros. Entre las funciones principales que se le otorgaban al árbitro quedaba reflejada la de decidir cuando los dos “umpires” se pronunciaban en sentidos contrarios, registrar un acta del partido y expulsar a los jugadores. En la etapa inicial ocupaba un lugar fuera del terreno de juego, colocado sobre una silla. En el año 1891 se le autoriza a entrar dentro del terreno de juego (Macdonald, 1977), pudiendo decidir en las situaciones críticas directamente, sin tener que esperar, adquiriendo el rol que ha mantenido hasta la época actual.

También en el año 1891 se modifica la ubicación en el terreno de juego de los “umpires”, que pasaron a colocarse en la línea lateral del campo, siempre en el medio campo del equipo que atacaba, dando lugar a la figura de los tradicionalmente conocidos como jueces de línea. Su función principal era la de ayudar al árbitro en la señalización de las posiciones de fuera de juego, asesorándole también en la indicación de cualquier otro tipo de infracción ocurrida durante el desarrollo de los partidos.

En un intento por dar una mayor jerarquía a estos jueces de línea, en el año 1996 la IFAB sustituyó su tradicional denominación por la de árbitros asistentes. Además, en el año 1999 se instauró la figura del cuarto árbitro, cuya labor está orientada hacia el apoyo del trío arbitral. Entre las funciones de este colegiado auxiliar están las de anotar todas las incidencias ocurridas durante el juego, controlar el comportamiento de los integrantes de los banquillos y, en el caso de que cualquier

miembro del trío arbitral caiga lesionado en el transcurso de algún partido, debe asumir la responsabilidad de sustituirlo.

El desarrollo de los distintos roles arbitrales da lugar a la fundación, en marzo del año 1893, de la asociación de árbitros ("Referees's Association") que agrupa a los jueces para participar en las competiciones regladas existentes en la época. Desde el año 1888, los árbitros participantes en la competición de liga reciben una remuneración por su actividad. Los jueces de línea inician su actividad profesional en 1896 (Golesworthy, 1976).

En el año 2000 se estimaba que en todo el mundo había en torno a los 720.000 árbitros censados, de los cuales 417.000 arbitraban en Europa (Eisenberg *et al.*, 2004). Los requisitos que deben poseer los árbitros son multidisciplinarios teniendo que conocer a la perfección el reglamento de juego y saber aplicarlo respetando la naturaleza del propio juego. A ello deben añadir conocimientos de psicología para comprender las respuestas de los jugadores, saber manejar las situaciones de presión (influencia de los espectadores, medios de comunicación, etc.) y un elevado nivel de condición física que les permita seguir el juego lo más cerca posible, sin experimentar un deterioro del rendimiento a lo largo de los partidos. Todos estos requisitos deben estar impregnados por unas sólidas cualidades morales que le conviertan en un juez honesto e imparcial a la hora de la toma de decisiones durante el desarrollo del juego.

Teipel (2001) (en Tsorbatzoudis *et al.*, 2005) distingue tres roles principales en los árbitros dentro de los deportes colectivos que son el negociador (que incluye la discusión y resolución de los episodios de tensión entre dos grupos que tienen intereses contrapuestos), el de juez (que exige la toma de decisiones y la aplicación

de las reglas del juego) y también el de director (al ser el máximo responsable de la gestión de todo lo que acontece en el juego).

1.1.3 Aproximación al conocimiento científico del fútbol

No ha sido hasta los últimos veinte o treinta años cuando el fútbol se ha convertido en objeto de estudio para los científicos del deporte. La organización en el año 1987 del Primer Congreso Mundial de Ciencia y Fútbol en Liverpool (Inglaterra), supuso un intento por reunir a todos los investigadores internacionales de los distintos deportes con códigos semejantes al fútbol (rugby, fútbol gaélico, fútbol australiano, etc.) con el fin de aglutinar conocimientos y fomentar la expansión de los mismos.

Debido al éxito que tuvo la iniciativa, se estableció una periodicidad cuatrianual para la celebración del congreso y en los años sucesivos se ha celebrado en Eindhoven (Holanda) en 1991, Cardiff (Gales) en 1995, Sidney (Australia) en 1999, mientras que la quinta edición tuvo lugar en Lisboa (Portugal) en abril de 2003.

La corriente de investigadores (Tom Reilly, Adrian Lees, etc.) que pusieron en marcha estos congresos mundiales dieron también un tratamiento universitario al deporte del fútbol y dentro del “Research Institute for Sport and Exercise Sciences” (Instituto para la investigación en las Ciencias del Deporte y el Ejercicio) de la Universidad John Moore’s de Liverpool se creó la titulación universitaria de “Science and Football” (Ciencia y Fútbol) en el año 1991.

Estos hechos han favorecido la proliferación de artículos de investigación sobre el deporte del fútbol en todos sus ámbitos (biomecánica, fisiología, psicología, técnica, táctica, etc.) aunque, actualmente, el cuerpo de conocimientos que se dispone del deporte del fútbol sigue siendo más reducido que el de otros muchos deportes debido al gran número de variables que intervienen en el rendimiento final y la dificultad que supone acotar muchas de ellas.

Históricamente se pensaba que el rendimiento en los deportes colectivos estaba supeditado al rendimiento individual de los jugadores que formaban los equipos. Por ello, en los primeros estudios al respecto, se planteaba la descomposición del rendimiento colectivo en la asociación de rendimientos individuales olvidando de esta manera la compleja gama de interacciones que se pueden establecer entre los miembros de un mismo equipo.

Esto hizo que las aproximaciones iniciales al estudio de los deportes colectivos fuesen realizadas desde el prisma de los deportes individuales, fragmentando los factores de rendimiento de cada especialidad para así poder aplicar los sistemas y principios que se habían mostrado efectivos con determinados atletas en disciplinas muy concretas (Lago, 2002). De esta manera el rendimiento final se mostraba como una suma de factores que se desarrollaban de forma separada durante el proceso del entrenamiento sin que existiese una relación directa con la realidad del juego (Mombaerts, 1998; Hernández Moreno, 2001). La consideración de estas variables de manera aislada e independiente puede hacer olvidar la esencia propia de la competición (Álvaro, 2002).

La base conceptual que sustentaba la aplicación de los principios clásicos de la teoría y práctica del entrenamiento en muchos deportes individuales como el

atletismo, la natación, el ciclismo o el patinaje, se justificaba por la determinación de la carga que suponía la competición, en términos cuantitativos y cualitativos, en tanto que los factores de rendimiento que eran relevantes en cada especialidad deportiva estaban debidamente jerarquizados desarrollando un sistema de entrenamiento adecuado para optimizar el rendimiento en cada disciplina. La aplicación de este tipo de concepción del proceso de entrenamiento en los deportes colectivos se amparaba bajo los llamados “modelos analíticos” (Álvaro *et al.*, 1995), que trataban de dividir el deporte en sus componentes básicos: preparación física, técnica y táctica. Este modelo está influenciado por autores clásicos como Matveiev (1977), Bompá (1983) o Platonov (1988).

El entrenamiento en los deportes individuales ha estado tradicionalmente sustentado en las teorías del aprendizaje basadas en la psicología conductista cuyo objetivo primordial era la mejora de la conducta operativa del deportista, despreocupándose del cómo y por qué el deportista se comportaba así. Partiendo de la conducta observable, se evaluaba lo que el sujeto era capaz de hacer y en qué debía mejorar. Posteriormente se establecía una progresión de ejercicios y se volvía a evaluar la conducta observada. Todo esto se hacía respetando modelos establecidos con deportistas que habían tenido éxito utilizando estos modelos, tratándose en definitiva de “modelos mecanicistas” (Seirul-lo, 1994).

La aplicación de estos primitivos modelos de rendimiento en los deportes colectivos dio lugar a afirmaciones como que el futbolista era un “decatleta físicamente considerado que domina la técnica del balón” (Álvarez del Villar, 1983), por lo que su entrenamiento debía estar fundamentado en el atletismo ya que durante los partidos debía correr, lanzar y saltar, o la consideración del jugador de balonmano

como una mezcla entre un corredor de 400 metros y un lanzador de jabalina (Álvaro *et al.*, 1995)

Los deportes colectivos suponen un campo de conocimiento distinto a los deportes individuales y la extrapolación de los modelos de los deportes individuales a los colectivos olvida la distinta naturaleza de cada uno de ellos (Álvaro, 2002). Mientras que los deportes individuales son generalmente habilidades cerradas, desarrolladas sobre un entorno relativamente estable, los deportes colectivos son habilidades abiertas (Knapp, 1977, en Greháigne, 2001), que se desarrollan sobre un entorno inestable y en los que existen unos compañeros con los que se establecen relaciones de colaboración y unos adversarios que interfieren directamente en la prestación. A estas características, Jordi Álvaro (2002) añade la necesidad de desarrollar conductas discontinuas, adaptativas y complejas en los límites espacio-temporales que determina el reglamento de cada especialidad.

En el intento por profundizar en el conocimiento de las exigencias que supone el juego, las primeras investigaciones realizadas en el ámbito de los deportes de equipo trataban de aglutinar la mayor cantidad de datos sobre lo acontecido durante el mismo, bien desde el punto de vista técnico (número de pases, lanzamientos, etc.), como desde el punto de vista biomecánico (distancias recorridas) o fisiológico (frecuencia cardíaca, consumo de oxígeno, etc.).

La conjunción de los conocimientos que se disponían del entrenamiento en los deportes individuales con los obtenidos del análisis del juego dieron lugar a los primeros planteamientos sobre el entrenamiento en el fútbol, amparados en un modelo de análisis del rendimiento denominado “bioenergético” o “ergogénico” (Álvaro *et al.*, 1995). Estos modelos se hallaban estructurados en torno a un campo

de conocimiento incompleto en el que únicamente se reflejaba una parte de la realidad competitiva del deporte de equipo, aquella referente a las conductas operativas de carácter cuantitativo.

La obra de F. Mahlo “El acto táctico en juego”, publicada en 1969, aporta una nueva perspectiva a la hora de interpretar los deportes colectivos subrayando la necesidad de comprender lo que sucede en el deportista durante el proceso de toma de decisión en la práctica deportiva. Este autor entiende por acción de juego la “combinación significativa, más o menos complicada, de los procesos motores y psíquicos indispensables a la solución de un problema nacido en la situación de juego”. De este modo, pretende desarrollar una nueva visión del entrenamiento deportivo en el que aparece un componente diferencial: el pensamiento de cada deportista, es decir, su implicación en la resolución de los problemas intrínsecos del juego.

El análisis de la acción de juego permite estudiar la relación entre el jugador, sus compañeros y los adversarios (relaciones de colaboración y oposición) en unas coordenadas espacio-temporales concretas. Por lo tanto, el estudio de la acción de juego pretende racionalizar el análisis del jugador mientras realiza la actividad lúdica o deportiva, olvidándose del objetivo pretérito de analizar al jugador de manera aislada.

A partir de los años setenta y ochenta surgen modelos de análisis de los deportes colectivos más específicos. Así, el modelo de las fases del juego -también conocido como “modelo funcional” (Álvaro *et al.*, 1995)- desarrollado por Bayer (1986), estudia el deporte en función del equipo que posee el balón, que es el que delimita quién está en la fase de ataque o en la fase de defensa y por ende el rol y

comportamiento de cada jugador. En este tipo de modelos el enfoque se centra en el estudio del comportamiento individual del jugador (Hernández Moreno, 1994).

Parlebas (1988) intentó dotar al estudio del deporte de otra perspectiva centrándose más en el propio deportista y en el porqué de las conductas realizadas. En su intento por racionalizar las actividades motrices, definió un nuevo campo de conocimiento, la praxiología. Por lo tanto, el objeto de estudio de esta nueva ciencia sería la acción motriz.

El propio Parlebas (1988) realizó una clasificación de las prácticas motrices que viene a refrendar afirmaciones anteriores y demuestra cómo el fútbol es un deporte en el que el practicante se enfrenta a la vez a fuentes de incertidumbre provenientes del entorno, de los compañeros y de los adversarios, lo que de por sí hace que la realidad de este deporte se aleje de otros como la prueba de salto de longitud en el atletismo, en donde el deportista se enfrenta a una situación mucho más estable y controlada.

Además de los componentes clásicos del rendimiento en los deportes, Parlebas (1988) hace referencia a una serie de universales (factores) que actúan como parámetros configuradores de la estructura de los mismos y que, posteriormente, Hernández Moreno (1994) resume en: el reglamento, la técnica o modelos de ejecución, el espacio de juego y sociomotor, el tiempo deportivo, la comunicación motriz y la estrategia motriz. Estos universales confieren una estructura única para cada especialidad (Sampedro, 1997 y 1999). La concreción de estos elementos estructurales para cada deporte permite el desarrollo de una visión más integral de su realidad competitiva específica.

Los modelos que los distintos autores presentan van evolucionando, pasando de los modelos clásicos, como el bioenergético o el praxiológico, hasta llegar al modelo “sistémico” (Sampedro, 1999), en el que se analiza la interrelación entre los integrantes y componentes del deporte, bajo la idea de totalidad. Autores como Durand (1979), Menaut (1982) o Sanvicens (1984) (todos ellos en Sampedro, 1998) ayudan a entender esta noción de deporte de equipo como sistema apoyándose en la idea de que la relación que se establece entre los elementos es de tipo dinámica y busca un fin común: interacción juego-jugador. Este sistema es de carácter complejo por la multitud de variables intervinientes, entre las cuales no se debe rechazar el azar, quizás más manifiesto en el fútbol que en otros deportes.

En la actualidad, partiendo de una “perspectiva estructural sistémica” (Sampedro, 1999) en la que la modificación de cualquier factor incide en el rendimiento de todo el sistema ya que se trata de un conjunto de elementos que interaccionan entre sí (Greháigne, 2001), se ha desarrollado el denominado “modelo competitivo” (Álvaro, 2002) o “modelo actual ecológico” (Pérez Tejero, 2003). Este modelo toma como referencia la competición (Sampedro, 1999) y su objetivo fundamental es el logro del máximo rendimiento en la misma.

1.1.4 Hacia un modelo de análisis del rendimiento físico del árbitro de fútbol

Las tendencias actuales en la investigación sobre el rendimiento en los deportes de equipo van encaminadas hacia el desarrollo de una teoría y práctica del entrenamiento específica para cada deporte, respetando la lógica interna y externa

de cada especialidad y partiendo del análisis de la realidad competitiva de cada disciplina.

En el caso del fútbol, los factores que inciden en el rendimiento final son múltiples y variados, lo que implica que muchas de las situaciones que se presentan a lo largo de un partido sean únicas e irrepetibles. A pesar de este factor intrínseco a la naturaleza del juego del fútbol, el análisis de la competición debe ser el punto de partida para intentar comprender lo que sucede en el deporte, ya que conocer la actividad que realizan los deportistas mientras compiten supone una fuente de información adicional para el entrenador que le ayuda a interpretar y conocer lo que sucede en ellas para retroalimentar el proceso de entrenamiento (Cramer, 1987, en Garganta, 2001).

La valoración y el control de las demandas de la competición supone, por lo tanto, un paso previo fundamental para analizar las exigencias de cada disciplina deportiva y para poder programar los medios de entrenamiento, que deben ser específicos y efectivos según la carga del ejercicio competitivo. Los máximos beneficios se alcanzan cuando el estímulo de entrenamiento se ajusta a las condiciones fisiológicas del rendimiento competitivo (Deutsch *et al.*, 1998).

El problema que se plantea es ¿qué información se debe obtener de la competición? y ¿cómo se puede obtener dicha información? Al ser el fútbol un deporte con un enorme calado social, el conocimiento del propio deporte está muchas veces ligado a una suerte de saber popular en posesión de todos los aficionados o entendidos, de ahí que “el análisis de las prestaciones de los jugadores y de los equipos de fútbol se realiza exclusivamente mediante la intuición de los entrenadores, lo que conlleva una elevada subjetividad y poco valor

científico” (Wilkinson, 1982, en Garganta, 2001). Franks & Goodman (1986) corroboran esta conclusión afirmando que la intervención se ha basado tradicionalmente en las observaciones subjetivas de los entrenadores, a pesar de haberse demostrado en diversos estudios cómo estas observaciones son frecuentemente erróneas.

El proceso de observación de un acontecimiento deportivo tiene muchas similitudes con la experiencia de ser testigo de un crimen, ya que en ambas situaciones el observador se ve influenciado por los factores psicológicos que rodean la acción (Franks & Miller, 1986). Esto induce a que los entrenadores puedan emitir juicios imprecisos y poco fiables sobre la secuencia de acciones que suceden dentro de una competición deportiva (Franks & Miller, 1991). En las investigaciones llevadas a cabo por Franks & Miller (1986 y 1991), los entrenadores de fútbol estudiados eran incapaces de recordar más del 40% de los factores determinantes del desarrollo del juego. Además, Franks (1993) no encontró diferencias significativas entre entrenadores de gimnasia de alto nivel y principiantes a la hora de analizar un elemento técnico, con la peculiaridad de que los entrenadores de mayor nivel tendían a emitir mayor número de falsos positivos, es decir, detectar una diferencia cuando realmente no existía, al tiempo que se mostraban más seguros de sus decisiones, incluso cuando eran incorrectas.

Debido a estas limitaciones que tienen los entrenadores, preparadores físicos y científicos del deporte para retener los factores críticos del rendimiento durante la competición, momento en el que se ven sometidos a una situación de stress que condiciona su capacidad de atención, resulta necesario que la preparación para la competición requiera de una aproximación sistemática (Reilly, 1996a). Parece

necesario, o cuando menos conveniente, que el entrenador reciba una ayuda (“feedback” o retroalimentación) a la hora de recabar información de la competición.

Para ello, en primer lugar sería preciso definir qué es lo que se quiere registrar, puesto que “el análisis sistemático está determinado por los criterios que establece el observador y éstos dependen del objetivo perseguido” (Grosgeorge, 1991, en Pino, 1999). A partir de la definición de los objetivos de la observación, la metodología a emplear para el registro de los datos debe ser válida y fiable, necesitándose respetar que el primer sello de calidad de la ciencia es la observación rigurosa (Reilly, 1993).

La integración de la información proveniente del análisis de la competición se realiza a través del desarrollo de un modelo de análisis del deporte. Un modelo es “una imitación o simulación de la realidad, construido a partir de elementos específicos del fenómeno que se observa e investiga” (Navarro, 1997). El desarrollo de un modelo es un proceso que lleva varios años y exige ir eliminando componentes erróneos e ir introduciendo otros nuevos. Los primeros pasos para elaborar un modelo son la fase de contemplación, en la cual el entrenador o investigador observa y analiza el desarrollo del deporte, y la fase de inferencia, en la que se decide qué elementos deberían ser retenidos y cuáles son los que se deben desechar por irrelevantes o no procedentes. Posteriormente se introducen y perfeccionan los elementos cuantitativos y cualitativos del modelo, que se prueba en situaciones de entrenamiento y competición hasta consolidar la versión final del mismo (Bompa, 1983).

“El modelo de análisis debe tener como meta seleccionar, describir e interpretar (explicar) los procesos y características de la actividad deportiva estudiada; verificar

los supuestos teóricos y los datos admitidos como válidos en relación con la teoría del rendimiento deportivo en general y de cada especialidad concreta; y predecir, en función de la información aportada por el propio modelo, la ocurrencia de determinados procesos y resultados” (González Badillo, 2002).

El carácter multivariado de los deportes de equipo dificulta el desarrollo de modelos de rendimiento porque a las variables intrínsecas del rendimiento de cada deportista hay que añadir las derivadas de la interacción del jugador con sus compañeros y adversarios y al hecho de que el juego se desarrolle en un medio inestable. Esto supone que “la valoración y el control en los deportes colectivos acíclicos entrañe una gran dificultad, tanto por el alto número de acciones motrices que se llevan a cabo en competición, como por el elevado número de sujetos a controlar” (Masaach, 1992). Estos factores han derivado en que exista una gran variabilidad en los resultados presentados en los distintos estudios (Castellano *et al.*, 1996).

Respetando estas consideraciones, se puede afirmar que los modelos de análisis del rendimiento en los deportes de equipo deben integrar por una parte información relativa a las variables cuantitativas y cualitativas que determinan la actividad de los deportistas durante la competición y por otra datos relativos a los deportistas que han destacado en el deporte. Ésta ha sido la aproximación más frecuente al estudio del fútbol y se ha centrado sobre todo en el estudio de los factores bioenergéticos que soportan el rendimiento, ya que ha sido la única aproximación, a día de hoy, adecuada para obtener datos de manera válida y fiable. Resulta indudable que sería importante disponer de conocimientos acerca de los factores informacionales que determinan el comportamiento del deportista durante el juego, pero en los estudios llevados a cabo hasta la fecha, sólo se ha podido registrar la conducta

resultante del jugador y la respuesta fisiológica que su realización ha tenido en el organismo, sin poder concretar de manera científica qué ocurre en el interior del jugador, en su mente, que le hace elegir una conducta y no otra.

Quizás sea ésta la próxima etapa en el desarrollo de las ciencias de apoyo al entrenamiento en los deportes de equipo: el conocimiento de los factores cognitivos que determinan la prestación deportiva, es decir, cómo y qué información recibe el deportista durante el juego, por qué canales la recibe, cómo la integra y procesa y por qué emite una determinada respuesta. Estos aspectos son difíciles de concretar pero su conocimiento marcará un salto cualitativo en la interpretación de la acción de juego en los deportes de equipo y arrojaría luz sobre el proceso de la toma de decisión durante el deporte, que posiblemente constituye uno de los factores que más incide en el logro de la maestría deportiva en los juegos colectivos.

Actualmente, resulta imposible acceder a este tipo de análisis durante la competición, por lo que los modelos de análisis más empleados en el deporte están fundamentados en el concepto de carga de entrenamiento, que Grosser (1992) define como “la magnitud de los estímulos a la que se somete el deportista durante el proceso de entrenamiento/competición”. La carga tendría dos vertientes, la externa (aspecto cuantitativo) que vendría dada por las actividades realizadas durante la competición: volumen de metros recorridos, número de acciones técnicas, etc. y la interna (faceta cualitativa) que representaría la reacción del organismo ante la actividad realizada.

Parece ser ésta la estrategia más habitual a la hora de analizar el deporte del fútbol ya que “este doble análisis de la energía mecánica restituida al medio ambiente y del costo energético interno de la actividad, por otra parte, permite obtener una

información valiosa a la hora de analizar posteriormente las cualidades que debe poseer un futbolista” (Gorostiaga, 1993).

Siguiendo con esta sustentación teórica para interpretar el deporte, Jens Bangsbo (1994a) afirma que las demandas fisiológicas del fútbol se pueden analizar mediante:

- a) la realización de observaciones relevantes durante los partidos,
- b) la obtención de medidas de parámetros fisiológicos durante el juego real y durante partidos amistosos,
- c) la determinación de la capacidad física de los jugadores de élite.

Este modelo de análisis denota una marcada influencia de las ideas de Ekblom (1986), que años atrás había estructurado su modelo de análisis fisiológico del fútbol en los siguientes apartados:

- a) características temporales del fútbol,
- b) perfil fisiológico del fútbol,
- c) perfil fisiológico de los futbolistas.

La capacidad física a la que hacen referencia estos autores puede ser registrada a través de la realización de pruebas de laboratorio y de campo, intentando obtener un perfil fisiológico de los deportistas, puesto que “los comportamientos exteriorizados por los jugadores durante el juego, responden en gran parte o son el resultado de adaptaciones provocadas por el entrenamiento” (Garganta, 1997, en Pino, 1999).

Un problema frecuente al que se ven sometidas las investigaciones llevadas a cabo con similares propósitos es el de no disponer de un número elevado de sujetos experimentales por las dificultades que representa el acceso a los deportistas de alta competición. En cualquier caso, Bangsbo (1994a) afirma que la evaluación de un número limitado de deportistas de alto nivel puede ser importante, puesto que se espera que existan unas demandas mínimas comunes para todos los practicantes.

El estudio del árbitro y de los árbitros asistentes en el fútbol se puede fundamentar en los mismos principios que el estudio de las demandas que experimentan los futbolistas de manera que las afirmaciones anteriormente expuestas en relación a los futbolistas son extrapolables, en la mayoría de los casos, para los árbitros y árbitros asistentes.

Por todo lo expuesto, parece razonable establecer un modelo de análisis del rendimiento físico de los árbitros y árbitros asistentes en el fútbol que parta del análisis de la actividad realizada durante la competición y se complemente con la monitorización fisiológica durante la misma y con el perfil fisiológico obtenido en pruebas de valoración de la condición física (Figura 1.1).

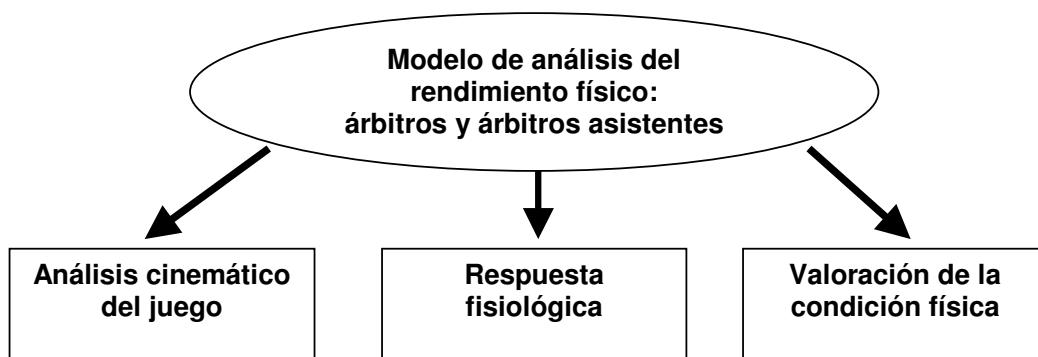


Figura 1.1 Representación esquemática del modelo de análisis del rendimiento físico de los árbitros y los árbitros asistentes.

Mediante esta triple aproximación se pretende desarrollar un perfil de las exigencias que supone el arbitraje en el fútbol, compartiendo de este modo los postulados de Burwitz *et al.* (1994) sobre los beneficios asociados a la aplicación de una perspectiva interdisciplinar en la investigación en el ámbito de las ciencias del deporte. Franks & Mc Garry (1996) subrayan también la necesidad de aplicar este prisma integrador en la investigación en el fútbol.

En la actualidad, se han desarrollado diversos programas informáticos que facilitan el análisis del desarrollo de la acción de juego. Estos tipos de software pueden proporcionar al entrenador parámetros detallados del rendimiento de los jugadores y presentan una mayor utilidad que las descripciones cualitativas basadas en las apreciaciones subjetivas de los observadores (Franks *et al.*, 1987), pudiéndose resumir sus beneficios en términos de velocidad y eficacia (Franks, 2004).

Los sistemas manuales o informáticos empleados para el estudio del juego deben adaptarse al modelo de análisis del rendimiento establecido por cada entrenador o científico del deporte. Aunque son múltiples las aplicaciones desarrolladas al efecto durante los últimos años para el deporte del fútbol, entre las mismas se pueden citar los programas CASE “Computer Assisted Sports Evaluation” (Programa informático asistido para la evaluación de los deportes; Franks & Goodman, 1984), CASMAS “Computer Assisted Scouting-Match Analysis System” (Sistema informático asistido para el análisis del juego; Dufour, 1993), MEMOBSER (Mombaerts, 2000), FARM “Football Athletic Results Manager” (Gestor de resultados condicionales del fútbol; Bacconi & Marella, 1995, en Pino, 1999), SAGE “Sport Analysis and Game Evolution” (Análisis del deporte y de la evolución del juego; Luhtanen *et al.*, 1997), SIMI Scout, STAT TRACK for soccer, MATCH

VIEWER, SOCCER NOTATION o FBEDITA (todos estos últimos sistemas vienen en Masaach, 2004).

Desde una perspectiva más comercial, operan en el mercado diversas compañías que ofrecen productos a los grandes clubes de fútbol para el análisis del juego basados en el reconocimiento automático de la imagen, como los sistemas ProZone o Amisco, cuyo funcionamiento se abordará con mayor profundidad en el siguiente capítulo, y editores de vídeo como el SportsCode (comercializado por la empresa australiana Sportstec) o el DigitalSoccer (de la empresa italiana del mismo nombre) (Setterwall, 2003).

En cualquier caso, este tipo de sistemas existente en el mercado tiene restringida su aplicación al estudio de los futbolistas, de ahí que para llevar a cabo el presente trabajo de investigación fuese necesario el desarrollo de un sistema informático específico para realizar un análisis de la actividad realizada por los árbitros y árbitros asistentes durante la competición.

Una vez que se dispone de un modelo de análisis del deporte y las herramientas necesarias para aplicar el mismo, los resultados obtenidos deben servir para el desarrollo de sistemas de entrenamiento específicos que repercutan en la mejora de la prestación competitiva. La orientación del entrenamiento debe fundamentarse en la información extraída del juego (Rohde & Espersen, 1988), puesto que “la planificación racional y científica de un proceso de entrenamiento sólo podrá llevarse a cabo si, previamente, se conoce y controla la carga de trabajo, tanto cualitativa como cuantitativamente del rendimiento efectuado en la competición” (Masaach, 1992). Hughes & Franks (2004b) comparten esta idea afirmando que las

medidas objetivas del rendimiento deben servir como base para la planificación futura del entrenamiento.

La Figura 1.2 resume de modo esquemático todos los pasos descritos en las páginas anteriores. En primer lugar resulta necesario identificar los elementos críticos del rendimiento del deportista (Franks, 2004), proceso que se realiza a partir del análisis y reflexión que cada técnico realiza sobre el deporte en cuestión y con la integración de la información relevante existente en la literatura internacional sobre el estado del arte en cada disciplina deportiva.

Una vez definidos estos elementos el entrenador o científico del deporte debe intentar elaborar un modelo de rendimiento, que ayude a explicar o predecir el rendimiento en la competición. Puesto que la obtención del máximo rendimiento en la competición es el objetivo prioritario de cualquier deporte, es en esta circunstancia donde debe testarse el modelo de rendimiento y de donde debe sacarse la máxima cantidad de información. Para ello resulta necesario contar con unas herramientas de apoyo que proporcionen una retroalimentación (“feedback”) sobre lo acontecido. Por feedback se entiende en este caso la información que le retorna al entrenador una vez finalizada la ejecución técnica o la contienda. Esta retroalimentación puede ser de tipo sensorial, obtenida a partir de los canales perceptivos del propio observador (visión, oído, etc.) y su posterior tratamiento e interpretación a través de las capacidades cognitivas, o de tipo aumentado, recibiendo la ayuda de medios externos (Schmidt, 1982, en Ruíz Pérez, 1994). Debido a las limitaciones anteriormente expuestas sobre la calidad del feedback sensorial de los entrenadores, en el presente trabajo de investigación se aboga por el desarrollo de un sistema audiovisual que facilite la obtención de información relevante sobre la competición.

Por último, los datos obtenidos durante la competición deben ser procesados y tratados, para poder enunciar las conclusiones de todo el procedimiento que deben repercutir en el desarrollo de unos sistemas de entrenamiento más específicos a las demandas que la competición suscita en los deportistas, y así, mediante la aplicación de los conocimientos adquiridos conseguir una mejora final del rendimiento del deportista en las posteriores competiciones. Se trata en definitiva de un sistema abierto y expuesto a una recogida continua de información con el objetivo de optimizar el rendimiento deportivo.

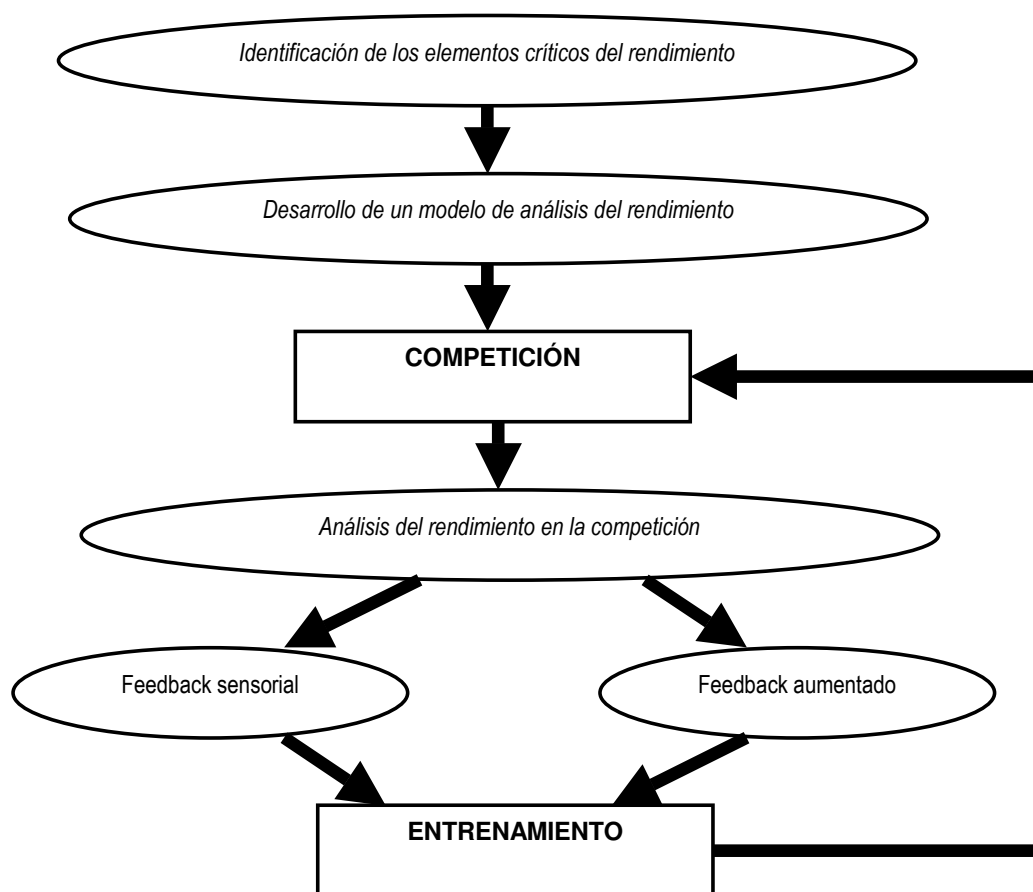


Figura 1.2 Representación esquemática del proceso de análisis de la competición.

1.2 Revisión de la bibliografía

El estudio del deporte del fútbol y de su realidad competitiva puede realizarse desde muy distintos enfoques aunque, para el presente trabajo de investigación, se haya optado por la aproximación al conocimiento de la carga –externa e interna- que supone la competición y por la descripción del perfil fisiológico de los árbitros y de los árbitros asistentes, siguiendo el modelo de análisis expuesto en el apartado anterior.

Partiendo de dicho modelo de análisis y respetando la necesidad de centrar el estudio en la respuesta del árbitro y árbitros asistentes durante el juego real, puesto que su mayor y mejor rendimiento es el objetivo prioritario de los deportistas de élite, se han publicado diversos trabajos de investigación durante los últimos años con similares objetivos.

El conocimiento de las exigencias del juego es mayor cuantos más datos se obtienen del deportista mientras compite y así se pueden diseñar programas de entrenamiento más específicos a los requisitos de la competición, con el propósito de mejorar la prestación de los jueces. Es por ello que cuando los análisis temporales del movimiento se complementan con la monitorización de variables fisiológicas mejora la representación de las demandas del juego (Reilly, 1996a).

El problema que se plantea al analizar los estudios de investigación publicados en relación con el objeto del presente estudio es que muchos de ellos han arrastrado graves carencias metodológicas, que derivan en una gran variabilidad de los

resultados obtenidos y provoca que, en algunos casos, los datos presentados deban tratarse como sospechosos (Reilly, 1994a), bien por defectos de rigor en las técnicas experimentales descritas o bien porque ni siquiera se indica cómo se obtuvieron los resultados finales.

Previo a la realización del presente trabajo científico, se ha intentado recopilar la mayor cantidad de artículos publicados en la literatura internacional sobre el tema de las demandas que supone la práctica del fútbol. Estos artículos han sido analizados y clasificados siguiendo el modelo de análisis del deporte expuesto en el apartado 1.1 y que hacía referencia a los siguientes tres enfoques diferenciales:

- (1) Análisis de la participación del árbitro y de los árbitros asistentes en la competición.
- (2) Análisis de la respuesta fisiológica del árbitro y de los árbitros asistentes durante la competición.
- (3) Perfil fisiológico del árbitro y de los árbitros asistentes, elaborado mediante los resultados obtenidos en pruebas de valoración de la condición física en laboratorio o en campo.

Con esta triple perspectiva del tema, se pretende desarrollar una descripción cuantitativa y cualitativa de las demandas del juego y de las necesidades condicionales que deben poseer los jueces para adaptarse al mismo.

1.2.1 Análisis de la participación del árbitro y de los árbitros asistentes en la competición

Esta primera aproximación al estudio de la actividad realizada por el deportista durante el juego responde al concepto de carga externa y trata de registrar la conducta operativa del deportista mientras compite, es decir, aquello que puede ser observado desde el exterior. Para lograrlo se han empleado tradicionalmente procedimientos no invasivos que no interfieren en la habitual actuación del competidor.

El término anglosajón “match-analysis” pretende aglutinar los conocimientos que se disponen del análisis del juego. La investigación en este campo presenta la ventaja de integrar los estudios realizados en distintas materias en una base común, en un intento de desarrollar una aproximación interdisciplinar para el estudio del deporte en general y del fútbol en particular (Franks & McGarry, 1996). La función principal del “match-analysis” es proporcionar información a los entrenadores sobre el rendimiento del equipo y obtener una representación detallada de las actividades del jugador durante el partido (Reilly, 2000), logrando un feedback preciso, objetivo y relevante para los jugadores (Franks & McGarry, 1996). Estos mismos postulados se pueden extrapolar para el estudio del rendimiento de los jueces.

El análisis de la actividad desarrollada por los árbitros durante el juego ha sido objeto de estudio en diversas publicaciones en la bibliografía internacional, abarcando una gran variedad de deportes colectivos como el hockey sobre hielo (Wilkins *et al.*, 1991), el rugby (Martin *et al.*, 2001), el “touch” rugby (Allen, 1989) o el fútbol (Brodie, 1981).

Para poder conocer la carga que supone el juego resulta necesario definir una serie de indicadores que actúen como reflejo de la actividad realizada por el deportista. Tal y como se irá viendo a lo largo de este apartado los indicadores de carga externa empleados en los distintos estudios han ido sufriendo una evolución con el paso de los años, utilizándose cada vez indicadores más válidos, registrados gracias a la aplicación de las nuevas y más sofisticadas tecnologías.

La intensidad que supone la competición en el fútbol se puede estimar por la distancia total recorrida durante los partidos (Reilly, 1997). Este valor representa una medida global del esfuerzo que se puede dividir en las distintas acciones que un deportista realiza a lo largo de los encuentros. Las acciones o actividades se pueden clasificar de acuerdo a la duración (o distancia), intensidad (o calidad) y frecuencia. Las actividades se pueden yuxtaponer a un código de tiempos para calcular el ratio de esfuerzos y de pausas. Estos ratios pueden ser empleados en estudios fisiológicos para representar las demandas del fútbol y también para la elaboración de programas de entrenamiento (Reilly, 1996a).

El análisis de los trabajos publicados sobre el tema permite constatar que ha existido una evolución en las técnicas instrumentales empleadas para el registro de las acciones realizadas por los deportistas durante el juego, pasándose de las técnicas iniciales de registro manual de las acciones —métodos de “hand notation” o anotación manual- a otras más complejas ligadas al desarrollo audiovisual, lo que ha posibilitado el empleo de videocámaras, ordenadores y sistemas informáticos complejos.

El uso de sistemas de anotación manuales para realizar un seguimiento objetivo de lo acontecido durante los encuentros tuvo su origen histórico en civilizaciones

pretéritas como la egipcia, en la que se empleaban jeroglíficos para leer la danza, o la romana, que tenía su propio método para el acopio de los gestos empleados en los saludos (Hughes, 1996). También en el ámbito de la música ha existido un interés por registrar los movimientos, habiéndose utilizado sistemas de anotación desde el siglo XI aunque no se estandarizaron hasta el siglo XVIII, siendo el sistema desarrollado por Laban, en 1948, el de mayor repercusión a escala mundial en esta disciplina (Hughes, 1996).

A partir de estos sistemas de registro empleados en el campo de la expresión corporal se han desarrollado métodos para la anotación de los sucesos acontecidos en los partidos durante los deportes de equipo. Para facilitar su comprensión Hughes & Franks (2004c) exponen brevemente la evolución de los sistemas primitivos de anotación manual en diversos deportes colectivos, haciendo referencia a los trabajos de Fullerton (1912) sobre las posibilidades de éxito de diversos roles en el béisbol y señalando a los estudios de Messersmith & Bucher (1939), cuyo objetivo era conocer la distancia recorrida por los jugadores de baloncesto, como la primera investigación con un sistema de anotación específicamente diseñado para el deporte. Más tarde estos mismos autores adaptaron el sistema a otros deportes de equipo como el hockey sobre hierba o el fútbol americano.

El analista del juego portugués Julio Garganta (2001) cita un origen anterior para estos estudios, señalando un trabajo inicial de Messersmith & Corey que pretendía conocer la distancia recorrida por los baloncestistas del año 1931, mientras que en 1932 Messersmith & Fay adaptaron el mismo sistema para el estudio de la distancia recorrida por los jugadores de fútbol americano. Precisamente, en el deporte del fútbol americano se comercializó el primer sistema de anotación en 1966 (Purdy, 1977, en Hughes & Franks, 2004c) aunque, curiosamente, en la actualidad se da la

paradoja que en este deporte está prohibido el empleo de sistemas informáticos para el análisis del rendimiento dentro de los estadios (Franks & Mc Garry, 1996).

Los primeros estudios realizados en el deporte del fútbol con sistemas de anotación manual fueron llevados a cabo por Reep & Benjamin (1968) (en Hughes, 1996) en su compilación de datos a lo largo de 15 años (1953-1968), período en el que almacenaron parámetros sobre el rendimiento técnico de los futbolistas (pases, tiros a puerta, etc.) completando una base de datos compuesta por un total de 3213 partidos.

Con el transcurso de los años los sistemas manuales han dado paso a los informáticos, que inicialmente presentaban la dificultad de la introducción de la información. Este proceso se fue solucionando con el empleo de paneles de digitalización ("play pad"; Hughes *et al.*, 1989) o teclados conceptuales ("concept keyboards"; Reilly, 1994a) que permitían el registro simultáneo de los datos durante el juego de una manera más precisa.

Esta evolución metodológica ha facilitado la obtención de datos cada vez más objetivos y relevantes para la interpretación del juego, según el enfoque que se le ha ido dando a las investigaciones. Las tres orientaciones principales de estos estudios han sido la cuantificación de las acciones técnicas realizadas por los deportistas, la valoración de la actividad cinemática realizada durante el juego (registrando el volumen y la intensidad de los desplazamientos) y/o la valoración del comportamiento táctico-estratégico de los futbolistas. Hughes (1996) añade un cuarto objetivo a estos estudios que sería el de crear compilaciones estadísticas de los datos disponibles sobre cada deporte.

La proliferación de herramientas para el registro de la actividad de los deportistas durante la competición está relacionada con los intereses comerciales de grandes empresas. Los sistemas utilizados tratan de ofrecer información a los entrenadores sobre el juego en tiempo real que sirve para analizar el rendimiento atendiendo principalmente a parámetros técnicos y táctico-estratégicos, que son los que se pueden obtener en un tiempo más inmediato al desarrollo del juego. Este tipo de aplicaciones informáticas son las que predominan en los trabajos de investigación publicados durante los últimos años en el deporte del fútbol (Gerisch & Reichelt, 1993; Winkler, 1993; Yamanaka *et al.*, 1993; Luhtanen *et al.*, 1997; Grant *et al.*, 1999; Hughes & Churchill, 2004; Lawlor *et al.*, 2004) centrados principalmente en el estudio de patrones de juego y en su eficacia.

El registro de la actividad cinemática de los deportistas durante la competición resulta muy difícil de llevar a cabo en tiempo real ya que precisa de medios complejos para la adquisición, procesamiento y tratamiento de los datos. Además, la mayoría de los métodos se caracterizan por presentar una relación inversa entre la fiabilidad de los datos y el tiempo requerido para su obtención, por lo que habría que distinguir entre los estudios que persiguen un fin comercial –generando la información a corto plazo- y aquéllos orientados hacia la investigación –con la obtención de los resultados en un intervalo mayor de tiempo-.

A lo largo de las siguientes páginas se irán mostrando y describiendo los principales métodos empleados para el registro de la actividad cinemática de los deportistas y los resultados más relevantes obtenidos en los diferentes estudios. Se pretende desarrollar con esta aproximación una visión certera del estado del arte en el presente ámbito de estudio.

1.2.1.1 Revisión de los métodos empleados para el registro de la participación de los deportistas en la competición

Una de las premisas básicas para enmarcar el proceso de entrenamiento es partir de un análisis del rendimiento realizado desde criterios objetivos, ya que las observaciones subjetivas cualitativas son fuente de errores (Franks & Goodman, 1986). Esta afirmación contrasta con la tendencia observada en la bibliografía de presentar datos relativos a la participación de los deportistas en el juego obtenidos con métodos no validados y poco fiables, lo que da lugar a una enorme variabilidad en la conducta motriz medida en el deportista.

En este apartado se irá haciendo una revisión de los métodos empleados para el análisis de los desplazamientos de los deportistas durante el juego, clasificando los mismos en función de la variable analizada: distancia, tiempo y velocidad. Se hará referencia a aquellos métodos utilizados en trabajos que han sido publicados por revistas nacionales e internacionales para así poder describir en qué consistía el método, cómo se validó y qué tipo de resultados se pudieron presentar con él. En cualquier caso, tal y como se podrá ir comprobando, el hecho de que se describa la metodología empleada no implica que esta haya sido validada previamente.

Métodos basados en el cálculo de la distancia

Siguiendo el punto de partida de los deportes individuales y guiados por el sentido común, los primeros trabajos llevados a cabo en el presente ámbito de estudio trataron de describir lo que el futbolista hacía durante la práctica del deporte, es

decir, anotar la conducta resultante durante la prestación deportiva. La introducción de nuevos elementos tecnológicos ha permitido ir haciendo más sofisticados estos análisis, cuyo origen se ciñe a la segunda mitad del siglo XX.

Las investigaciones iniciales sobre el tema se centraron en el cálculo de las distancias recorridas por los futbolistas durante los encuentros puesto que así se podía estimar el gasto energético que suponía la actividad (Reilly, 1993 y 1996a). Aunque desde los años cincuenta existen referencias sobre datos relativos a la distancia total recorrida por un futbolista durante un partido no fue hasta los años setenta cuando comenzaron a indicarse los métodos empleados para la obtención de los resultados. En un corto período de tiempo se publicaron varios trabajos que hacían referencia a diferentes métodos utilizados, de forma casi paralela, en estudios que perseguían un objetivo común: cuantificar la distancia total cubierta por un futbolista durante el juego.

Es probable que el primer método empleado para este fin fuese el denominado “campograma milimetrado” (Álvarez del Villar, 1983). Existen diversas referencias sobre el empleo de esta técnica experimental, la primera de ellas correspondiente a los trabajos del mánager de la selección de Inglaterra W. Winterbottom (1952) (en Withers *et al.*, 1982) en sus estudios con jugadores ingleses, aunque fue aplicado también en otros países. Reilly (1994a) señala que la aproximación japonesa clásica al estudio del comportamiento cinemático del futbolista en el juego fue realizada a través de métodos tomados de la cartografía, como en los estudios de Togari (1967) y Ohta *et al.* (1969) (ambos en Asami *et al.*, 1988), también denominados métodos de calcado (Asami *et al.*, 1988). Esta técnica consiste en el trazado de los movimientos que realizaban los jugadores a lo largo del juego en un diagrama a escala del campo en papel de acetato para posteriormente colocar una

hoja de papel milimetrado debajo de la planilla y poder así conocer la distancia total recorrida, convirtiéndola a metros.

Álvarez del Villar (1983) refleja también la utilización de esta metodología en un estudio con futbolistas checoslovacos en el año 1973, mientras que Sánchez Gallego (1976) utiliza el llamado “campograma milimetrado” (Figura 1.3) para comparar la distancia recorrida durante los partidos de competición por centrocampistas españoles de distinta edad.

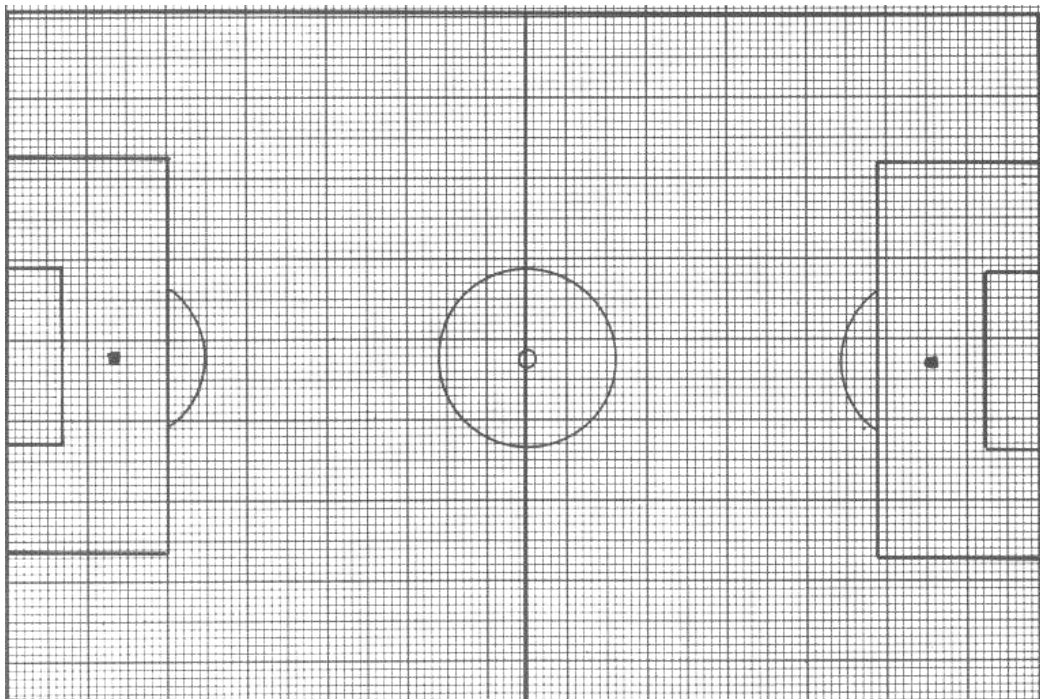


Figura 1.3 Representación gráfica del “campograma milimetrado” (Figura tomada de Álvarez del Villar, 1983).

Un diseño similar fue empleado por Saltin (1973) para valorar la importancia de contar con unas reservas de glucógeno elevadas a la hora de afrontar los partidos. En este caso el método empleado consistía en extrapolar la distancia recorrida por

futbolistas durante un partido amistoso desde películas de 3 min de duración (Bangsbo, 1994a). Los movimientos se calcaban desde la pantalla a papel para calcular las distancias, sin aclarar como se corregían los errores (Reilly, 1994a).

A pesar de tratarse de un método utilizado en distintos estudios en ninguno de ellos se hace referencia ni a la validez del mismo ni a aspectos que podrían contribuir a definir su fiabilidad, como la precisión o la objetividad. En cualquier caso, esta técnica ha sido empleada en estudios más recientes como el llevado a cabo por Asami *et al.* (1988), en el que analizaron desde una localidad en la grada las distancias recorridas por trece árbitros, trazando las trayectorias de los desplazamientos sobre un diagrama a escala 1:350 del campo, cambiando el papel cada 5 min. Después del partido la longitud de las líneas se determinaban con un curvímeter para calcular la distancia de los desplazamientos. También con una muestra de árbitros, aunque en este caso australianos, Johnston & McNaughton (1994) estimaron la distancia recorrida durante los partidos registrando los desplazamientos sobre un diagrama a escala del campo, al igual que realizó Martínez (1998) con árbitros españoles.

De estudios que han utilizado esta técnica experimental se ha llegado incluso a publicar datos relativos a la distribución de los movimientos según la intensidad de los mismos (Winterbottom, 1952, en Withers *et al.*, 1982; Saltin, 1973; Asami *et al.*, 1988), realizándose siempre la clasificación bajo criterios subjetivos, lo cual puede suponer una importante fuente de errores.

Una técnica experimental diferente fue utilizada en otra de las primeras aproximaciones al ámbito del presente estudio por Knowles & Brooke en el año 1974. Estos autores registraron los desplazamientos realizados por jugadores

ingleses profesionales del equipo Manchester City durante cuatro partidos competitivos hasta completar una muestra total de cuarenta sujetos. Es destacable que este estudio sea el primero en el que la metodología empleada fue testada antes de llevar a cabo las observaciones. El método consistía en que varios observadores registraban en hojas de anotación los desplazamientos de los jugadores en unidades de 5 yardas (4,6 m). El hecho de que los valores obtenidos sean de los más bajos que se pueden encontrar en la bibliografía podría deberse al bajo coeficiente de fiabilidad ($r=0,61$) que presentaba este método (Reilly, 1994a), lo que podría haber provocado una subestimación de los resultados presentados.

Uno de los estudios más importantes publicados hasta la fecha, que ha sido una referencia ineludible en todos los trabajos posteriores sobre esta materia, es el llevado a cabo por Reilly & Thomas en el año 1976. A este trabajo se le suele considerar como el embrión de la ciencia del “match-analysis”, al ser un estudio realizado con gran rigor metodológico y utilizar una técnica experimental debidamente validada antes de llevar a cabo las observaciones. El método fue empleado para analizar la distancia total recorrida por jugadores ingleses profesionales de un equipo de la máxima categoría –Everton- a lo largo de una temporada, analizando los partidos en los que el equipo jugaba como local y como visitante. Un observador se situaba en la tribuna principal del estadio, justo sobre la línea divisoria central y, para calcular la distancia recorrida por los futbolistas, se apoyaba en un esquema del campo (Figura 1.4) que estaba dividido con líneas longitudinales, transversales y también con las líneas del corte de la hierba (las que quedaban al segar el campo). El esquema era memorizado por el observador y lo tenía siempre a disposición de consulta durante la fase de registro.

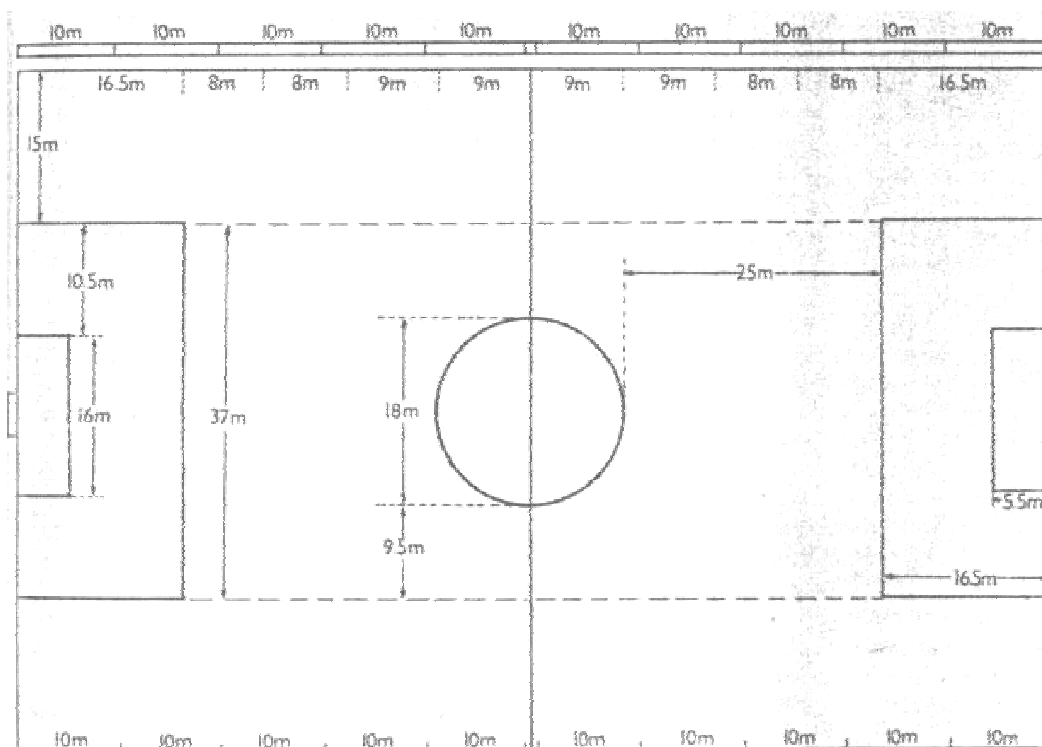


Figura 1.4 Esquema del campo empleado para realizar las anotaciones manuales por Reilly & Thomas (1976).

Los desplazamientos de los jugadores eran anotados en unidades de 1 m durante todo el partido, complementándose con grabaciones en audio de la acción realizada. Las acciones preestablecidas fueron: andar, desplazarse de espalda, trotar, "cruising" (correr con un objetivo manifiesto y con esfuerzo) y sprintar. Además, se registraron los desplazamientos realizados en posesión del balón, los saltos y el tiempo en que el jugador estaba quieto -durante el juego o durante las interrupciones del mismo- mediante una cuenta personal cuando el tiempo era inferior a 3 s o con un cronometraje manual en las interrupciones más largas, a partir del tercer segundo de pausa. Se registraba cada actividad realizada por el futbolista y cada cambio en la naturaleza y el nivel de la conducta constituía una nueva actividad.

En los años posteriores a la publicación del estudio se siguió considerando este método como la forma más apropiada para llevar a cabo el seguimiento de un jugador por partido (Reilly, 1990 y 1996a) e incluso esta técnica experimental ha sido aplicada en estudios más recientes (Kirkendall *et al.*, 1988).

Otra metodología empleada para el cálculo de la distancia total recorrida por los deportistas fue la cuantificación del número de zancadas que el jugador daba durante los desplazamientos y la multiplicación por su longitud media. Álvarez del Villar (1983) hace referencia al empleo de esta técnica para registrar la distancia cubierta por jugadores a una velocidad alta en estudios personales llevados a cabo en el año 1970. Para ello calculaba previamente la longitud media de zancada en una muestra de veinte futbolistas mientras realizaban un desplazamiento en velocidad y luego la multiplicaba por su frecuencia durante el juego real.

Esta metodología fue posteriormente validada y aplicada en otros estudios (Withers *et al.*, 1982). En este caso los partidos eran filmados en su totalidad con una videocámara desde la grada, siguiendo con ella a un único jugador. En el momento en que era necesario reemplazar la cinta un segundo observador registraba los movimientos en una cinta de audio, mientras que un tercer observador calculaba el tiempo en que la pelota no estaba en juego a lo largo de todo el encuentro. Al finalizar el partido el futbolista era filmado mientras recorría el diámetro del círculo central en los distintos tipos de movimiento que iban a ser analizados, momento en que el jugador conocía que había sido filmado. De este modo determinaban la longitud media de zancada que correspondía a cada tipo de desplazamiento. Además, se computaba el tiempo empleado en cada unidad de alta intensidad (compuesta por la suma de las categorías de carrera rápida y sprint) y en las acciones de baja intensidad (la suma del resto de categorías), así como el número

de entradas, cabeceos, contactos del pie con el balón, giros, saltos y tiempo en el que el futbolista permanecía parado.

Antes de llevar a cabo la fase experimental Withers *et al.* (1982) determinaron la fiabilidad de la metodología mediante la realización de un estudio piloto en el que un jugador era analizado por dos observadores para calcular la distancia total recorrida en cada categoría de desplazamiento. El coeficiente de correlación de Pearson entre los resultados de los dos observadores fue de 0,998 y, exceptuando los desplazamientos realizados en las categorías de carrera rápida y sprint, la diferencia entre los dos observadores nunca fue superior al 5%.

La misma técnica experimental ha sido utilizada también para el cálculo de la distancia recorrida por árbitros ingleses de la primera división (Catterall *et al.*, 1993; Harley *et al.*, 2001b). Los partidos se filmaban con una cámara situada en la grada principal de los estadios y cerca de la línea central. Posteriormente se clasificaban los movimientos del árbitro en cuatro categorías: de espalda, andar, trotar y sprintar. La longitud media de zancada de cada árbitro se calculaba tras monitorizar su desplazamiento alrededor del círculo central. El número de zancadas en cada tipo de desplazamiento se multiplicaba por su longitud media para conocer la distancia recorrida.

Existen también referencias al empleo de otras técnicas de anotación manual para el registro de la distancia recorrida por los futbolistas. Whitehead (1975) (en Withers *et al.*, 1982) realizó observaciones en papel sobre la actividad realizada durante 10 min de cada período de juego, comparando futbolistas ingleses de distinto nivel (primera y segunda división), aunque no se indica las características de los registros realizados.

Así sucede también con los datos presentados por Palfai sobre futbolistas húngaros en 1962 (en Álvarez del Villar, 1983), en el que se hace referencia al número de ocasiones en que los futbolistas recorrían distancias de 8, 10, 15, 20 y 30 m, pero no se indica el criterio utilizado para cuantificar la distancia de cada desplazamiento ni si se validó previamente el método empleado. El mismo Álvarez del Villar (1983) expone en su libro las distancias recorridas por futbolistas destacados de la época sin indicar cómo se obtuvieron los resultados.

Una técnica experimental similar fue empleada por Ekblom (1986) que anotaba en un papel que representaba el campo (escala 1:400) la acción de un jugador durante minutos alternativos, llegando incluso a clasificar la intensidad de los desplazamientos. Cuando dos observadores seguían a un mismo jugador Ekblom (1986) comprobó que la diferencia en la distancia estimada inter-observadores estaba en torno al 2%. Esta técnica instrumental se utilizó tanto para el análisis de partidos de la primera a la cuarta división sueca como para el análisis de partidos internacionales (Alemania e Inglaterra), sirviéndose incluso de imágenes tomadas desde las retransmisiones de televisión.

Para estudiar la distancia recorrida por futbolistas noruegos Helgerud *et al.* (2001) desarrollaron un sistema en el que los partidos se filmaban con una cámara de vídeo desde una posición elevada en relación al terreno de juego. Más tarde utilizaban una mesa editora de imágenes y un panel digitalizador, todo ello complementado con un software que permitía registrar los movimientos de los jugadores durante los partidos. Con esta metodología trataron de comprobar la influencia de un entrenamiento de potencia aeróbica sobre la distancia recorrida por los futbolistas en los encuentros.

En relación a otros deportes de equipo Green *et al.* (1976) realizaron anotaciones manuales sobre los desplazamientos de los jugadores de hockey sobre hielo, bien directamente durante el juego o a la conclusión de los partidos al visualizar las grabaciones en vídeo realizadas, intentando obtener los perfiles de esfuerzo de los deportistas durante el juego real. También Allen (1989), en su estudio sobre las exigencias del deporte del “touch” rugby, estimaba la distancia recorrida por los jugadores y los árbitros apoyándose en marcas pintadas sobre el campo durante partidos de 40 min de duración. El campo estaba dividido con marcas transversales cada 5 m y con marcas longitudinales cada 2 m, a partir de las cuales determinaba la distancia recorrida y la clasificaba en función de la intensidad de los desplazamientos en tres categorías: andar, trotar/correr y sprintar. Los partidos eran filmados y encontró una variación menor del 5% en los resultados cuando dos observadores analizaban el mismo partido.

En general todos los métodos de anotación manual de los desplazamientos se ciñen al análisis de los movimientos lineales de los deportistas. Por este motivo Brice *et al.* (2004) plantearon un método para registrar los desplazamientos curvilíneos de los deportistas. Para ello dividieron el campo de fútbol en dieciocho secciones, doce laterales de unas 20x20 yardas y seis centrales de unas 30x20 yardas. Los movimientos circulares se pasaban manualmente a papel y utilizando distintos curvímetros colocados sobre una hoja de acetato determinaron el radio de giro de cada tipo de desplazamiento que oscilaba entre 3,5 y 11 m.

Métodos basados en la medida del tiempo

El siguiente estadio en la cronología de las investigaciones centradas en el análisis de la actividad cinemática realizada por el deportista durante el juego fue el control de la variable tiempo en lugar de la variable distancia. McKenna *et al.* (1988) resaltan que para optimizar la investigación sobre las demandas del juego resulta más adecuado conocer el tiempo empleado en cada actividad que la distancia total recorrida ya que se trata de un dato más objetivo y refleja con mayor precisión las verdaderas exigencias, facilitando la interpretación de lo acontecido.

Puesto que resulta muy complicado para los entrenadores almacenar e interpretar toda la información proveniente del juego en tiempo real, la aplicación al fútbol de los análisis temporales del movimiento (“time-and-motion analysis”) permite la obtención de una fuente de eventos objetivos y sistemáticos y facilita la comprensión de lo sucedido durante el juego (Reilly, 1994a; Bangsbo, 1994a).

Aunque existen referencias sobre la aplicación de esta metodología en otros deportes de equipo como el hockey sobre hielo (Green *et al.*, 1976) los primeros estudios centrados en el deporte del fútbol se remontan a Brodie (1981) que desarrolló un modelo de análisis temporal del juego para los árbitros ingleses, con el propósito de conocer el tiempo que empleaban en cada tipo de movimiento y desarrollar posteriormente una prueba de valoración de la condición física específica a los requerimientos.

El primer trabajo del que existe referencia sobre la utilización de una metodología similar a ésta aplicada en futbolistas fue el llevado a cabo por Mayhew & Wenger en 1985. Previamente a la etapa de adquisición de los datos de este estudio los

autores establecieron las siguientes categorías de actividades: permanecer quieto, andar, trotar, correr -que incluía la carrera rápida y el sprint- y movimientos “utilitarios”, categoría que abarcaba los desplazamientos de espalda, laterales y los saltos. El procedimiento consistía en la filmación de un futbolista a lo largo de períodos predefinidos de tiempo durante un partido con una cámara de vídeo. Posteriormente la cinta se visualizaba y se registraban las acciones realizadas en un micro-ordenador, respetando las categorías de acciones anteriormente expuestas y permitiendo conocer los tiempos empleados por el futbolista en cada actividad, su frecuencia, la duración media y el porcentaje de tiempo empleado en cada tipo de actividad sobre el tiempo total de juego. Antes de llevar a cabo la investigación los autores plantearon un estudio piloto para testar la metodología obteniendo un coeficiente de correlación de Pearson para la fiabilidad de 0,97 y para la objetividad de 0,95 que según Mayhew & Wenger (1985) son los dos factores críticos para establecer la validez en los estudios para el análisis temporal del juego.

El empleo de esta técnica experimental ha sido variada y además de aplicarse al deporte del fútbol (Ali & Farrally, 1991a; Masaach, 1992; Pirnay *et al.*, 1993; Miles *et al.*, 1993; Castellano *et al.*, 1996; Capranica *et al.*, 2001; O’Dohoghue & Parker, 2002; Carvahlo *et al.*, 2004a; Stroyer *et al.*, 2004; Thatcher & Batterham, 2004) se ha empleado también en distintos deportes colectivos como el rugby (Docherty *et al.*, 1988; Deutsch *et al.*, 1998 y 2001; Martin *et al.*, 2001), el “touch” rugby (O’Connor, 2001), el rugby a 7 (Rienzi *et al.*, 1999), el rugby a 12 (Duthie *et al.*, 2005), el fútbol gaélico (Keane *et al.*, 1993; McErlean *et al.*, 1998; O’Donoghue & King, 2004), el fútbol australiano (Dawson *et al.*, 2004a,b), el hockey sobre hierba (Spencer *et al.*, 2004) o el hockey sobre hielo (Wilkins *et al.*, 1991). Al mismo tiempo se han realizado aplicaciones similares en futbolistas utilizando grabaciones

en audio de los movimientos en vez de filmaciones en vídeo (Yamanaka *et al.*, 1988). De todos estos estudios únicamente Docherty *et al.* (1988) y Yamanaka *et al.* (1988) hacen referencia a aspectos que contribuyan a definir la validez de la metodología empleada.

Esta metodología ha sido la más empleada hasta la fecha al permitir la obtención de perfiles de trabajo o de esfuerzo que caracterizan la actividad desarrollada por los deportistas. La evolución de los sistemas informáticos ha facilitado el desarrollo de aplicaciones que permiten ir introduciendo en tiempo real las acciones realizadas por los futbolistas según se visualiza la filmación del partido (Figura 1.5).



Figura 1.5 Realización de un análisis informático del tiempo empleado por los jugadores en distintas categorías de esfuerzo. (Imagen tomada de Bangsbo, 1994b).

Este tipo de aplicaciones informáticas ha experimentado también una vertiente comercial que introduce en el mercado sistemas para el análisis temporal del movimiento como el TMAS (Carvahlo *et al.*, 2004a) utilizado con árbitros

portugueses, el SIMI empleado en el estudio de jugadores búlgaros (Bachev *et al.*, 2003) o el Observer Video-Pro utilizado para el análisis de árbitros británicos de rugby (Martín *et al.*, 2001).

Aunque esta técnica experimental está fundamentada en el seguimiento de un deportista con una cámara de vídeo a lo largo de un partido (o durante parte del mismo) desde un lugar elevado ubicado en la grada o sobre una plataforma especialmente diseñada, en algunas ocasiones (McLean, 1992; O'Donoghue & Parker, 2002) los estudios se han realizado obteniendo las imágenes directamente desde las retransmisiones de televisión. En cualquier caso, la principal diferencia entre todos estos estudios radica en la distinta clasificación de las actividades que se realiza en cada uno de ellos, por tener que debe adaptarse a las características del deporte y a los objetivos específicos de cada investigación.

Basándose en las nociones anteriores se han desarrollado otras técnicas experimentales que, al mismo tiempo que registraban el tiempo empleado en cada actividad, permitían estimar la distancia total recorrida en cada una de ellas a partir de la velocidad media de cada categoría de desplazamientos (Bangsbo *et al.*, 1991). Esta metodología requiere también la filmación de un deportista a lo largo de un encuentro con una cámara de vídeo, para lo cual se situaba la misma a una altura de 10 m y a unos 50 m de distancia del campo. Al finalizar el partido los jugadores, que no sabían hasta entonces que habían sido filmados, debían recorrer la línea lateral del área de penalty en distintas formas de movimiento, calculándose las velocidades medias de dichos desplazamientos (Bangsbo *et al.*, 1991). En algunos de los estudios posteriores que han empleado este mismo método (Krustrup & Bangsbo, 2001; Mohr *et al.*, 2003) la velocidad media de los desplazamientos se estimaba a partir de observaciones detalladas de las cintas de

vídeo, utilizando el tiempo que el jugador tardaba en pasar por marcas prefijadas en la hierba, el círculo central y otras distancias conocidas, para calcular la velocidad media de cada actividad.

Las categorías de locomoción establecidas por Bangsbo *et al.* (1991) fueron las siguientes: permanecer quieto, andar (cuya velocidad media se estimó en 6 km/h), trotar (8 km/h), correr a velocidad baja (12 km/h), correr de espalda (12 km/h), correr a velocidad moderada (15 km/h), correr a velocidad alta (18 km/h) y sprintar (30 km/h). Para complementar el estudio registraron otras acciones como los golpes al balón y las entradas. Posteriormente, con una aplicación informática desarrollada al efecto, cronometraron la duración de cada actividad calculando la frecuencia, el tiempo total empleado y su distribución en períodos de 5, 15, 45 y 90 min a lo largo de todo el partido. La distancia recorrida en cada categoría resultaba ser el producto de la velocidad media y del tiempo empleado en la actividad. En las aplicaciones más recientes de esta metodología (Krustrup & Bangsbo, 2001; Krustrup *et al.*, 2002; Mohr *et al.*, 2003), la velocidad media para la carrera de espalda se redujo a 10 km/h y la velocidad media para el sprint a 25 km/h.

Antes de llevar a cabo la primera investigación Bangsbo *et al.* (1991) comprobaron la fiabilidad de la técnica experimental, encontrando que las variaciones en los resultados obtenidos por distintos observadores nunca era superior al 4% del tiempo total de las actividades, mientras que la diferencia intra-individual (al analizar un observador el mismo partido con un intervalo de una semana entre los análisis) en el cálculo del tiempo total para cada actividad era menor al 1,5%. Para profundizar en la definición de la objetividad de esta técnica instrumental, Krustrup & Bangsbo (2001) plantearon un estudio en el que un mismo observador repetía el análisis de cinco partidos con un intervalo de tiempo de 6 meses entre ambas

observaciones. La diferencia intra-individual en cuanto a la distancia total recorrida era inferior a 0,2 km (coeficiente de variación del 1%) mientras que las variaciones intra-individuales en las categorías de andar, correr a intensidad baja, correr a una elevada intensidad y correr de espalda era del 2, 5, 3 y 3%, respectivamente.

Este método ha sido empleado también en otros estudios posteriores por el mismo grupo de investigadores, tanto en futbolistas de género masculino (Bangsbo & Lindquist, 1992; Bangsbo, 1994b; Krstrup *et al.*, 2003a y 2004b; Mohr *et al.*, 2003) como de femenino (Mohr *et al.*, 2004b; Krstrup *et al.*, 2005), para determinar el perfil de la actividad llevada a cabo por los árbitros (Krstrup & Bangsbo, 2001; Bangsbo *et al.*, 2004b) y los árbitros asistentes (Krstrup *et al.*, 2002 y 2004a).

Métodos basados en el cálculo de velocidades

En este apartado se hará referencia a aquellas técnicas experimentales que analizan directamente la velocidad de desplazamiento de los deportistas, puesto que el método desarrollado por Bangsbo *et al.* (1991) se fundamentaba en estimaciones de la velocidad media en función de los distintos tipos de movimientos preestablecidos. Este tipo de metodologías puede tener dos vertientes según se intente registrar la velocidad media o la velocidad instantánea (lineal) de los movimientos. Sobre el empleo de instrumentaciones para el cálculo de la velocidad media de los desplazamientos existen referencias, como mínimo, de dos tipos de técnicas distintas.

McLean, en 1992, desarrolló un método para calcular la velocidad media de los desplazamientos integrando dos de las técnicas experimentales anteriormente

descritas. Por una parte tomaba imágenes desde las retransmisiones realizadas por la televisión del torneo de rugby de las Cinco Naciones para poder cronometrar el tiempo empleado en cada categoría de desplazamientos y, por otro lado, utilizaba un sistema para el cálculo de distancias similar al de Reilly & Thomas (1976) a partir de un esquema del campo y calculando las distancias recorridas en función de referencias conocidas, apoyándose del vídeo para ralentizar o repetir las imágenes confusas. Al conocer el tiempo empleado en los desplazamientos y la distancia recorrida calculaba la velocidad media de los movimientos. En este trabajo no se indica si se llevó a cabo la validación de la metodología antes del proceso de adquisición de los datos.

Una técnica similar fue empleada por Rienzi *et al.* (2000) aunque en este caso la muestra estaba compuesta por futbolistas sudamericanos e ingleses. Durante la etapa de la toma de datos un jugador era filmado con una cámara de vídeo los 90 min de un partido. Posteriormente los partidos era reproducidos en un monitor de televisión y, con la ayuda de un ordenador, analizados. Las acciones se clasificaban en función de la intensidad de las mismas en cuatro categorías: andar (de frente y de espalda), trotar (de frente, de espalda y lateral), correr rápido (a una velocidad elevada, pero no máxima) y sprintar. El criterio seguido para clasificar los movimientos en las categorías establecidas era el análisis de la frecuencia de zancadas por segundo, realizado por un observador entrenado. El tiempo que el jugador permanecía quieto también se cronometraba. A partir de un diagrama a escala del campo se estimaba la distancia total recorrida, marcando la posición inicial y final de cada desplazamiento. Este análisis estaba vinculado al temporal de manera que se calculaba el tiempo medio y total de cada actividad y el porcentaje que cada clase de movimiento suponía sobre el total. Antes de llevar a cabo el estudio el método fue validado analizando la fiabilidad -reproductividad y

objetividad- del mismo. Todos los coeficientes de variación para las pruebas realizadas estuvieron entre el 10 y el 15%, valores que se consideran aceptables para los sistemas biológicos según Stokes (1985) (en Rienzi *et al.*, 2000).

Estas aproximaciones estudiando la velocidad media de los desplazamientos han sido las menos frecuentes, ya que el estudio de la variable velocidad lineal permite obtener datos de carácter más cualitativo al tiempo que favorece una mejor delimitación de las demandas del juego. Además, las técnicas experimentales que se basan en la estimación de la distancia total recorrida a partir de la observación de los modos de movimiento de los jugadores según niveles de velocidad preestablecidos -clasificaciones subjetivas de los desplazamientos-, pueden provocar que las observaciones pierdan precisión y objetividad (Ohashi *et al.*, 1988).

Para poder conocer la velocidad lineal de los desplazamientos de los deportistas resulta imprescindible disponer de un método que permita calcular la posición del jugador en instantes de tiempo definidos. Aplicando fórmulas matemáticas a partir de la variación de la posición en función del tiempo se puede conocer la velocidad instantánea de los desplazamientos. Por lo tanto, el primer requisito del proceso es el desarrollo de un sistema que permita determinar, en unidades de tiempo conocidas, la posición exacta del deportista sobre el terreno de juego.

La aproximación más rudimentaria para lograr este objetivo, al tiempo que es la que conlleva una mayor probabilidad de error, es la digitalización manual de la posición del deportista. Este procedimiento fue seguido por Erdmann (1993) que, tras filmar la totalidad del terreno de juego desde un lugar elevado, con un ángulo de la cámara de 130º y con una velocidad de filmación de 50 Hz, proyectaba la imagen

sobre la pantalla de televisión. A continuación colocaba una hoja de papel de calco encima de la pantalla, con líneas que dividían el campo en cuadrados de 1x1 m, ayudándose de unas referencias colocadas sobre el propio terreno de juego cada metro. La posición de los futbolistas era digitalizada manualmente en intervalos de 1 s durante los 5 primeros minutos de un único partido. De esta manera estimó la distancia recorrida, la velocidad lineal y la aceleración lineal de los desplazamientos de los jugadores.

Un método prácticamente idéntico había sido adoptado anteriormente por Molina (1992), en el que anotaba en cada segundo la posición de siete jugadores brasileños de fútbol sala sobre una cuadrícula que representaba el terreno de juego, para poder estudiar posteriormente las variables cinemáticas que caracterizaban las acciones de los jugadores.

El empleo de esta técnica experimental sin un adecuado sistema informático que la complementa hace que, hoy en día, esta metodología se encuentre prácticamente desechada. Por ello, los estudios más recientes que han planteado la digitalización de la posición del jugador en intervalos de tiempo conocidos se han apoyado en sistemas fotogramétricos para facilitar el proceso de adquisición y tratamiento de los datos.

El trabajo de mayor relevancia en la bibliografía internacional utilizando técnicas fotogramétricas ha sido el llevado a cabo por Van Gool *et al.* (1988). Estos autores filmaron un encuentro de fútbol universitario con una cámara de vídeo de 16 mm, con una velocidad de filmación de 5 imágenes por segundo. La cámara se situaba en la parte superior de un edificio de 57 m de altura, de tal manera que en la imagen se podía ver la totalidad del terreno de juego. La proyección de la película

sobre un panel digitalizador (Mutoh Drafting and Digitizing Machine CX 3000) conectado a su vez con un sistema informático y la digitalización de la posición de los jugadores cada segundo permitió determinar las coordenadas (x , y) que definían la posición de los futbolistas. La posición digitalizada era transformada a unidades reales (pasando de pixels a metros) utilizando los parámetros de transformación y rotación pertinentes con una precisión en la digitalización del sistema de 0,1 mm. Cada segundo la distancia recorrida por el jugador se calculaba como la distancia entre dos puntos consecutivos mediante la fórmula:

$$\text{Distancia entre dos puntos} = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}$$

La derivada de la función de la posición del futbolista en cada instante de tiempo permitía conocer la velocidad instantánea del jugador a lo largo del período de juego analizado. Van Gool *et al.* (1988) establecieron distintas categorías de movimiento tras un estudio piloto en el que veinticuatro jugadores recorrieron una distancia de 30 m bajo diversas formas de movimiento. Los intervalos de velocidades finales para cada uno de los tipos de desplazamiento fue: estar quieto (de 0 a 1,3 m/s); andar (1,3-2,4 m/s); trotar (2,04-4,89 m/s); correr rápido (4,89 -6,93 m/s) y sprintar (6,93-8,15 m/s).

Un estudio muy similar había sido planteado en el año 1983 por Franks (en Franks & Goodman, 1986) colocando una cámara de 16 mm a una altura de 65 m, con un ángulo de 40° sobre el centro del campo filmando un período (45 min) de un partido de fútbol con una frecuencia de filmación de 1 Hz. Posteriormente intentó digitalizar la posición de los veintidós jugadores, el balón y los tres árbitros que aparecían en la imagen aunque problemas metodológicos derivados de la pobre resolución de la

imagen obtenida y del largo tiempo requerido para digitalizar la totalidad de la secuencia impidieron completar el estudio.

Esta misma técnica experimental, basada en la fotogrametría, también ha sido empleada en otros deportes colectivos como el fútbol sala (Aguado & Lloveras, 1987), baloncesto (Riera, 1986; Riera & Aguado, 1989), hockey sobre patines (Aguado, 1991) y waterpolo (Aguado & Riera, 1989). Al igual que en el caso anterior el procedimiento empleado exigía la captura de la totalidad del campo de juego en la imagen durante la filmación creando un sistema de calibración a partir de la situación del terreno de juego y de las esquinas cuyas dimensiones reales se podían determinar. En el waterpolo el criterio seguido para digitalizar la posición del jugador era marcar sobre la pantalla la gorra del jugador mientras que en el baloncesto, hockey sobre patines o fútbol sala se marcaba un punto imaginario entre los dos pies del jugador. Riera (1986) estudió la fiabilidad de la metodología al comparar el análisis de un mismo período de juego por dos observadores independientes siendo el error inferior al 5%. Para intentar justificar la validez del procedimiento el propio Riera (1986) señala un error del 45% al comparar la distancia calculada con este método cuando un jugador se desplazaba por un circuito conocido. En un estudio posterior (Riera & Aguado, 1989) se cifra la validez de esta técnica experimental en un 4% aunque no se precisa como se obtuvo este porcentaje ni el criterio empleado para definirla.

Con el propósito de intentar agilizar el proceso de obtención de los resultados, muy laborioso al requerir la digitalización manual de todos los fotogramas que componen la secuencia, se han planteado otras técnicas que intentan realizar el proceso de digitalización en tiempo real, o cuando menos, pretenden reducir el tiempo de adquisición de los datos.

Entre las alternativas que se han diseñado para agilizar este proceso está el seguimiento sobre un panel de digitalización conectado a un ordenador de la trayectoria de los desplazamientos de los deportistas, tal y como realizaron Hughes *et al.* (1989) en su estudio sobre el squash. El panel de digitalización contaba con 1440 interruptores individuales que se cerraban con la presión realizándose un seguimiento táctil de los movimientos del jugador. Para el tratamiento de los datos utilizaban un suavizado de los mismos con una rutina de la media de cuatro puntos.

Una aplicación que guarda una gran similitud con la anteriormente descrita para el deporte del squash ha sido desarrollada para el análisis cinemático de la participación de los jugadores en los deportes de equipo aunque en este caso la trayectoria de los jugadores se seguía con el ratón del ordenador (Barbero, 1998; Soto, 2002). La aplicación informática denominada RUNNER v.1. (Barbero & Soto, 2002a,b; Barbero *et al.*, 2003a) ha sido empleada principalmente para la valoración del rendimiento en el deporte del fútbol sala (Barbero *et al.*, 2003b y 2004).

Los resultados que se pueden obtener con un sistema basado en la fotogrametría pueden ser muy variados, incluyendo la frecuencia de los desplazamientos y de las pausas, la representación gráfica de los desplazamientos sobre el terreno de juego (mostrando la distribución espacial y las zonas de influencia), la distancia total recorrida, los metros recorridos en distintos intervalos de velocidades lineales, la duración media de los desplazamientos en cada categoría de intensidad, etc. (Barbero, 1998).

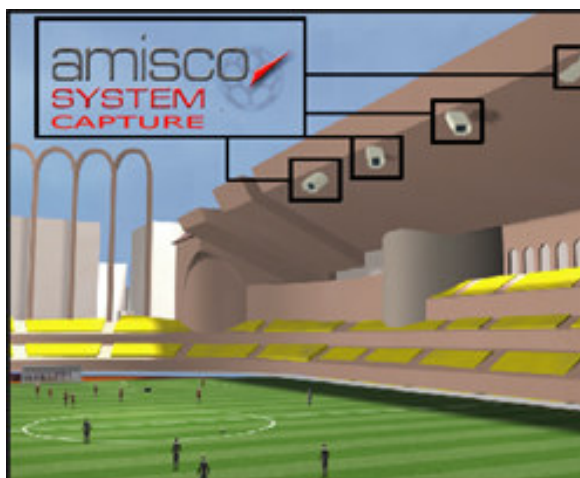
Los sistemas que se emplean en la actualidad para el análisis del juego se enmarcan en programas de Inteligencia Artificial (Shelton, 1996). Desde el Campeonato del Mundo de Francia 1998 (Penel & Traversian, 1998, en García

López & Rubio, 2004) se están desarrollando sistemas de reconocimiento automático de la imagen. La aplicación de estas técnicas experimentales en el deporte del fútbol puede enfocarse tanto para el análisis cinemático de los desplazamientos de los futbolistas como con fines táctico-estratégicos. Basados en estos principios en la actualidad se comercializan los sistemas Amisco (principalmente en los países mediterráneos) y ProZone (en Gran Bretaña). A pesar de que estos sistemas son utilizados por los clubes europeos más poderosos del momento, no existe a día de hoy ninguna publicación en la literatura científica que describa la validez y fiabilidad de dichos sistemas (García López & Rubio, 2004) que pueden ser de una gran utilidad para el análisis del juego. Además, los sistemas no son del todo automáticos al requerir ayuda de operadores externos para resolver las situaciones de conflicto que se plantean durante el seguimiento de los deportistas.

Tanto el sistema Amisco como el ProZone presentan unas características prácticamente idénticas y su principal diferencia radica en el mercado en el que cada uno se han asentado, siendo necesario recalcar el prisma comercial que manejan ambas empresas. A modo de ejemplo Setterwall (2003) refleja que la instalación del sistema ProZone en un estadio tiene un costo aproximado de 1.00.000 de libras esterlinas (aproximadamente 157.000€) a lo que habría que añadir un coste adicional por partido analizado. Otro inconveniente que presenta este tipo de sistemas es que no son portátiles, se tienen que instalar fijos en un estadio y si un club contrata su servicio sólo lo puede emplear en los partidos disputados como local.

Las ventajas que proporcionan ambos sistemas radican en la gran cantidad de información que permiten obtener. La colocación de las cámaras del sistema

Amisco en los estadios (Figura 1.6) permite realizar un seguimiento de los veintidós jugadores, los árbitros y la pelota con una frecuencia de 25 imágenes por segundo a lo largo de todo el partido.



*Figura 1.6 Esquema de la colocación teórica de las cámaras del sistema Amisco en un estadio.
(Imagen tomada de <http://www.tacticpro.com>).*

La información es obtenida mediante un sistema de captura automática de la imagen y con el auxilio de una serie de operadores manuales que registran los eventos ocurridos durante el juego. La empresa que comercializa el producto (Sport Universal Process) ofrece dos configuraciones del sistema, una para Clubes (AmiscoPro) y una orientada a los medios de comunicación (Sportimedia).

La configuración AmiscoPro se estructuraba originalmente en tres partes: un modo de animación, un modo táctico y un modo físico aunque, en la actualidad, únicamente se distingue entre el modo de animación y el modo estadístico, al mismo tiempo que se han incorporado nuevas opciones de edición de video. A partir del registro de la posición de los jugadores el programa calcula la distancia

recorrida y la velocidad instantánea de los desplazamientos pudiéndose sincronizar con la imagen real del partido (Figura 1.7).



Figura 1.7 Representación de la reconstrucción de la posición de los jugadores en el campo con el sistema AmiscoPro. (Imagen tomada de <http://www.sport-universal.com>).

Las categorías de desplazamiento definidas de antemano por el sistema Amisco son: andar (de 0 a 10 km/h), trotar (10-14 km/h), correr (14-21 km/h) y sprintar (más de 21 km/h) (Zubillaga, 2004). La categoría sprintar incluye los esfuerzos que superan la velocidad de 21 km/h por un tiempo superior a un segundo finalizando los mismos cuando la velocidad desciende de dicho umbral hasta en un 5% durante un segundo (Masaach, 2004).

El sistema ProZone se estructura en cuatro apartados: animación, análisis del juego, preparación física y estadísticas. El modo de animación permite la representación gráfica de las posiciones de los jugadores durante todo el partido. A partir de esta recreación se pueden obtener los parámetros cinemáticos característicos del movimiento (distancia recorrida, intensidad del trabajo, etc.). Al

igual que sucedía con el sistema Amisco, se fundamenta en la colocación de ocho cámaras en el terreno de juego y, a partir de un sistema automático de reconocimiento de la imagen, se capturan los movimientos de los jugadores (Setterwall, 2003). Uno o varios operadores manuales deben colaborar con el sistema para corregir posibles errores en la reconstrucción de las posiciones y para recopilar los datos de todos los elementos técnicos acontecidos (pases, faltas, etc.).

Otro sistema de reconocimiento automático de la imagen denominado Tomoko-VM ha sido empleado en Japón (Shiokawa *et al.*, 2004). Estos autores calcularon la posición de los jugadores y la pelota durante el juego en tres dimensiones (x , y , z) utilizando un procedimiento basado en los algoritmos de la DLT (Abdel-Aziz & Karara, 1971). Para ello colocaron dos cámaras de vídeo, equipadas con grandes angulares, en la cubierta de la tribuna del estadio. El movimiento de los jugadores y de la pelota se calculaba cada 0,33 s con un error máximo de calibración de las posiciones de 40 cm. Este mismo sistema fue también empleado en otro estudio con fines relacionados con el análisis táctico por Kan *et al.* (2004) concluyendo que los jugadores recorrían más metros cuando atacaban que cuando defendían. En otro estudio táctico similar, utilizando esta técnica experimental, Okihara *et al.* (2004) analizaron la superficie que ocupaban los jugadores de un mismo equipo al atacar y al defender.

Todos estas técnicas experimentales anteriormente descritas conllevan la necesidad de filmar los partidos con cámaras fijas. Fernandes & Caixinha (2004) describieron una metodología para la grabación de los partidos con una cámara en movimiento, técnica de filmación denominada como “panning”. El terreno de juego se calibraba formando quince triángulos de dimensiones conocidas a partir de los cuales se podían convertir las posiciones relativas en absolutas. Este proceso se

llevaba a cabo con la aplicación de un modelo matemático previamente desarrollado que permitía la transformación de las coordenadas utilizando parámetros de escala, de rotación y de traslación. El error en la reconstrucción de distancias conocidas utilizando este método era inferior al 5%.

Además de las técnicas fotogramétricas existe otra metodología aplicada en estudios recientes para la determinación de la posición de los jugadores sobre el terreno de juego cuya concepción corresponde a Ohashi *et al.* (1988). Esta técnica experimental consiste en el seguimiento de un deportista durante un partido de fútbol con dos cámaras de video en cuyos trípodes se colocan sendos potenciómetros. Las cámaras se ubican en las esquinas del campo, a unos 10 o 20 m del córner y la imagen se centra con una mirilla para facilitar la filmación del jugador (Ohashi *et al.*, 1988). A partir de procedimientos trigonométricos, puesto que la distancia entre la base de las dos cámaras y el ángulo que forma el jugador con cada cámara en un instante concreto son conocidos, se puede determinar la posición del jugador (Figura 1.8). Las posiciones son corregidas mediante un suavizado de tres puntos para corregir el error lateral de centrar al sujeto con una cámara y se almacenan con un intervalo de 0,5 s.

Esta técnica ha sido aplicada por el mismo grupo de investigación en posteriores estudios (Ohashi *et al.*, 1993; Miyagi *et al.*, 1999) a la vez que optimizada (Ohashi *et al.*, 2001). En este último trabajo se indica la evolución del procedimiento que en las aplicaciones más recientes permitía determinar la posición del jugador en intervalos de 0,1 s y transmitir la información en tiempo real mediante una tarjeta A-D, a un ordenador personal con un suavizado de cinco puntos al transformar las coordenadas en unidades reales.

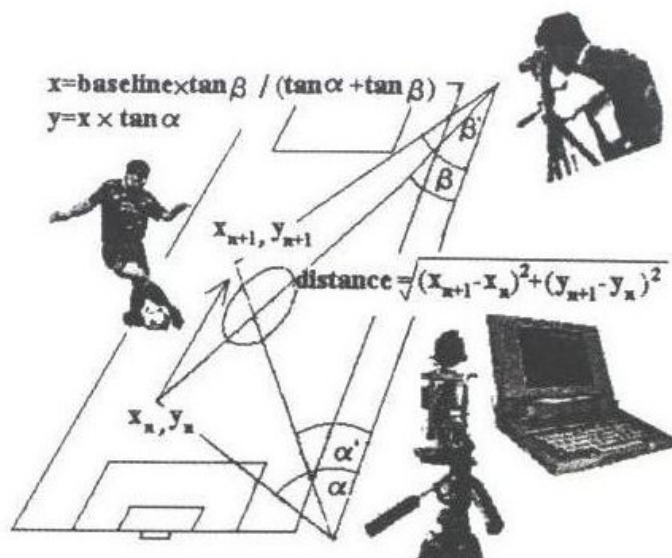


Figura 1.8 Esquema de la colocación del equipamiento en el sistema de determinación de la posición de los futbolistas mediante potenciómetros. (Figura tomada de Ohashi et al., 2001).

Esta metodología para el análisis cinemático del juego ha sido comercializada en Italia bajo el nombre de “Play Controller” y aplicada en distintos estudios de investigación, tanto para analizar los desplazamientos de futbolistas de élite (D’Ottavio & Tranquilli, 1992; Hernández Moreno, 1997; D’Ottavio, 1998), como de futbolistas jóvenes (D’Ottavio & Castagna, 1999c), árbitros (D’Ottavio & Castagna, 2001a,b,d; Castagna & D’Ottavio, 1999 y 2001; Castagna *et al.*, 2002a,b; Castagna & Abt, 2003; Castagna *et al.*, 2004a) y jugadores de fútbol sala (Hernández Moreno, 2001).

Las categorías de desplazamientos establecidas por estos autores y sus intervalos de velocidades respectivos fueron: estar parado, andar de frente, correr a intensidad baja (por debajo de 13,1 km/h), correr a intensidad media (13,1-18 km/h), correr a intensidad alta (18,1-24 km/h), correr a velocidad máxima (por encima de 24 km/h), andar de espalda, correr de espalda, correr lateral, acciones de

intensidad alta (por encima de 18,1 km/h) y desplazamientos “no ortodoxos” (suma de la carrera de espalda y lateral, siguiendo a Reilly & Bowen, 1984).

La validez de esta técnica experimental se estableció con árbitros durante simulaciones de partidos de 45 min de duración empleándose cinco protocolos distintos en los que el arbitro recorría distancias conocidas a velocidades indicadas sobre el campo de fútbol. Las diferencias entre las distancias reales y las medidas con el sistema “Play-Controller”, para cada categoría de desplazamiento, no fueron significativas e inferiores al 1%. Entre 2 y 3 días posteriores se realizaron estudios para determinar la fiabilidad intra e inter-individual, sin que hubiese diferencias significativas entre las categorías de desplazamiento siendo de nuevo las variaciones menores al 1% (D’Ottavio & Castagna, 2001a,b).

Resulta necesario reseñar la existencia de nuevas técnicas de reconocimiento de la posición del deportista sobre el terreno de juego que están aún en etapa de desarrollo. Algunas de estas nuevas metodologías están ligadas al ámbito militar, como los métodos de GPS (“Global Positioning System” o sistemas de posicionamiento global). Esta técnica es un sistema de navegación apoyado en una serie de satélites en órbita alrededor de la Tierra (Schutz & Chambaz, 1997). Este tipo de sistemas se han empleado tanto para el estudio de la marcha (Terrier *et al.*, 2000; Terrier *et al.*, 2001; Terrier & Schutz, 2003) como de la carrera humana (Schutz & Herren, 2000). Ishii *et al.* (2002) emplearon también esta aplicación tecnológica para el cálculo de las distancias recorridas por los árbitros de fútbol y de rugby. Kirkendall *et al.* (2004) reflejan también la utilización de sistemas de GPS en partidos amistosos de fútbol femenino para analizar el volumen de los desplazamientos realizados aunque no especifican sus características. Esta

metodología requiere que el deportista que lleve el GPS, lo que dificulta su utilización en el fútbol profesional.

En el intento por lograr sistemas más aplicables durante el juego se han diseñado pequeños sensores que los futbolistas llevan en las espinilleras o en las camisetas y que sirven para localizar la posición (sistema Cairos; Holzer *et al.*, 2003). Este sistema tiene una precisión de 3 cm y las posiciones de cada jugador se determinan en tiempo real en intervalos de 0,0014 s, mientras que la de la pelota cada 0,0005 s.

La empresa Orad comercializa el producto “SportTrack” basado en un sistema de sensores cuyo peso aproximado es de 20 gr que permite realizar el seguimiento de los jugadores y conocer la distancia acumulada y la velocidad de los desplazamientos (Setterwall, 2003).

Por último, la empresa Trakus (<http://www.Trakus.com>) está intentado adaptar al fútbol y al fútbol americano su sistema “Digital Sports Information” que en la actualidad se emplea en el hockey sobre hielo y que, a partir de sensores, permite conocer las variables cinemáticas que caracterizan el movimiento de los deportistas. En cualquier caso, estos avances tecnológicos se hayan aún en fase de gestación y su aplicación en el fútbol de alto nivel resulta todavía muy compleja.

1.2.1.2 Principales resultados obtenidos

Distancia total recorrida

El análisis de las demandas cinemáticas que supone el juego ha sido estudiado con menor profundidad en el caso de los árbitros y menos aún en los árbitros asistentes que en los futbolistas. Esto hace que aunque existan variadas aproximaciones al estudio de las exigencias del juego del fútbol son pocas las realizadas con objetivo de describir el perfil de la actividad que supone el arbitraje.

Las primeras investigaciones realizadas sobre este tema se centraron en la cuantificación de la distancia total recorrida por los futbolistas como representación de la carga total que suponía el juego. Se partía de la premisa de que el gasto energético durante la actividad física se hallaba en relación con el trabajo mecánico realizado, de manera que si se determinaba la distancia total que el futbolista recorría se podría estimar el gasto energético que suponía la disputa de un partido de fútbol (Reilly & Thomas, 1976).

Ante la imposibilidad de llevar a cabo mediciones fisiológicas directas como el consumo de oxígeno, la frecuencia cardiaca o la temperatura corporal sobre el jugador mientras competía, bien porque en el momento de realizar los estudios iniciales no se disponía de los medios adecuados para llevar a cabo estas mediciones o bien por su carácter invasivo que dificultaba el desarrollo habitual de la actividad, se optó por el registro de la distancia total recorrida como parámetro que caracterizaba la participación del futbolista.

Sucede, en teoría, que en los medios de locomoción normales el gasto energético está relacionado directamente con la distancia recorrida (Reilly, 1990). El gasto energético al correr una distancia está relacionado con el trabajo mecánico realizado y según Reilly (1994a) es bastante independiente de la velocidad de carrera. Es por ello que la distancia total recorrida en un partido puede suponer una guía sobre el perfil de trabajo de los deportistas (Reilly, 1990) al ser representativa de la severidad general del ejercicio y de la contribución individual del jugador al esfuerzo global del equipo (Reilly, 1994a).

El origen de los estudios centrados en el análisis de la figura del árbitro de fútbol, desde el punto de vista de su comportamiento cinemático durante el juego, se remonta a los años ochenta. En el caso de los árbitros asistentes no ha sido hasta el año 2002 cuando se ha publicado el primer artículo en la bibliografía internacional que hace referencia a las demandas que experimentan durante el juego.

La distancia total recorrida por un árbitro de fútbol durante un encuentro muestra un amplio rango dando lugar a que en los distintos estudios publicados se hayan obtenido distancias medias que van desde los 7,5 (Harley *et al.*, 2001b) hasta los 12,3 km (Castagna & Abt, 2003). En la Tabla 1.1 se muestran los valores medios registrados en los distintos estudios que han analizado la distancia total recorrida por los árbitros de fútbol durante la competición. A partir de estos valores se puede estimar en unos 10.400 m la distancia media recorrida por los árbitros.

A día de hoy sólo existen dos artículos publicados (Krustrup *et al.*, 2002 y 2004a) que hacen referencia a la distancia total recorrida por los árbitros asistentes. Estos autores, utilizando un método basado en el análisis temporal descrito en el apartado anterior, cronometraron el tiempo que el árbitro asistente permanecía en cada tipo

de movimiento y lo multiplicaron posteriormente por la velocidad media de su categoría de desplazamiento. La estimación de la distancia media recorrida por los árbitros asistentes tuvo un valor promedio de 7,3 km (Krustrup *et al.*, 2002 y 2004a).

Tabla 1.1 Distancia total (media $\pm$ desviación estándar) recorrida por los árbitros durante los partidos de fútbol.

Autor	Año	Método	n	Distancia (m)
Asami <i>et al.</i>	1988	Campograma milimetrado	17	9990 $\pm$ 927
Catterall <i>et al.</i>	1993	Longitud y frecuencia zancadas	14	9438 $\pm$ 707
Johnston & McNaughton	1994	Anotaciones manuales		9408 $\pm$ 838
Harley <i>et al.</i>	2001b	Longitud y frecuencia zancadas	14	7496 $\pm$ 1122
D'Ottavio & Castagna	2001a	Potenciómetros	18	11376 $\pm$ 1604
D'Ottavio & Castagna	2001b	Potenciómetros	96	11469 $\pm$ 983
Krustrup & Bangsbo	2001	Tiempo en categorías	43	10070
Castagna & D'Ottavio	2001	Potenciómetros	16	11584 $\pm$ 1017
Castagna <i>et al.</i>	2002b			
Castagna <i>et al.</i>	2002a	Potenciómetros	39	11638 $\pm$ 605
Castagna & Abt	2003	Potenciómetros	65	10949-12303
Carvahlo <i>et al.</i>	2004a	Tiempo en categorías	4	9447 $\pm$ 811
Bangsbo <i>et al.</i>	2004b	Tiempo en categorías	42	10028
Castagna <i>et al.</i>	2004a	Potenciómetros	13 ⁽¹⁾	12087 $\pm$ 548
			13 ⁽²⁾	11218 $\pm$ 1056

Nota: ⁽¹⁾ árbitros nacionales; ⁽²⁾ árbitros internacionales.

Por el contrario, han sido muchos los estudios que se han ocupado de analizar la distancia total recorrida por los futbolistas durante los encuentros. Los primeros estudios publicados sobre el tema datan del año 1950 aunque es rasgo característico de estos trabajos iniciales la no indicación del método empleado para la obtención de los resultados o el hecho de que se indique el método pero no como

se validó. Este importante matiz exige que la interpretación y la generalización de los resultados deba realizarse de una manera cautelosa.

A modo de ejemplo, la heterogeneidad de los datos presentados en los estudios iniciales del tema revela valores que van desde los 3.361 (Winterbottom, 1952, en Withers *et al.*, 1982) hasta los 17.000 m (Viannai, 1973, en Bosco, 1991). Tamaña disparidad sugiere la necesidad de tomar únicamente en consideración aquellos estudios realizados con metodologías validadas antes de llevar a cabo la recogida de los datos. Los primeros estudios en los que se refleja la utilización de una metodología validada y fiable fueron los llevados a cabo por Knowles & Brooke (1974) y, sobre todo, Reilly & Thomas (1976).

A partir de los estudios realizados con mayor rigor científico se ha podido concluir que la distancia media recorrida por los futbolistas en los partidos está en torno a los 10,8 km (Bangsbo *et al.*, 1991) con un rango que va desde los 9 a los 12 km (Reilly, 2000).

El puesto específico ocupado por los futbolistas dentro del sistema de juego del equipo puede tratarse de un factor que influya en la distancia recorrida durante los partidos. En este sentido se ha comprobado (Reilly & Thomas, 1976; Withers *et al.*, 1982; Ekblom, 1986; Bangsbo *et al.*, 1991) que los centrocampistas son los que más metros recorren durante los encuentros mientras que los defensas centrales y los delanteros son los que menos distancia completan.

También se ha constatado como el sistema de juego empleado por el equipo puede influir en la respuesta cinemática de los futbolistas de alto nivel (Bangsbo, 2003). Mientras que un jugador que ocupaba el puesto específico de carrilero (lateral

largo) derecho en un sistema de juego 1-5-3-2 se fatigaba en el minuto 60, cuando actuaba en la posición de mediocampista derecho en el sistema 1-4-4-2 podía completar la totalidad del partido sin una pérdida tan notoria del rendimiento.

Además del puesto específico el estilo de juego de los equipos también influye en el desempeño físico de los futbolistas. Tradicionalmente, los equipos británicos y del norte de Europa han desempeñado el denominado estilo directo de juego que consiste en el empleo prioritario de pases largos desde la defensa hacia los delanteros. Este juego directo parece aumentar (Reilly, 1997 y 2000) las demandas fisiológicas en los jugadores ya que requiere de un movimiento continuo y una presión constante al poseedor del balón.

Distribución de los desplazamientos según la intensidad relativa de los esfuerzos

El carácter intermitente del juego del fútbol hace que no todos los esfuerzos se realicen a una intensidad uniforme sino que existe un patrón de desplazamientos de intensidad alternante a lo largo de las distintas fases del juego, de manera que durante un partido el futbolista puede realizar hasta 1.000 cambios en la forma del movimiento con una duración media de cada uno de 5 o 6 s (Reilly & Thomas, 1976).

Estos ciclos de actividad y pausa son impredecibles siendo producto de la espontaneidad de los jugadores y del estilo de juego (Reilly, 1990) y por tanto, el estudio de la participación del deportista en un partido a través del análisis de la

distancia total recorrida es incompleto al tratarse de una variable que no determina cualitativamente la prestación del sujeto.

Para poder clasificar la distancia total recorrida en las distintas categorías –según el tipo de movimiento realizado- se han adoptado diversas aproximaciones metodológicas en función de la variable objeto del estudio, descritas ya en el apartado anterior y que, a modo de resumen, se podrían concretar en:

- (i) Análisis de la distancia total recorrida y clasificación de los desplazamientos según observaciones subjetivas del investigador.
- (ii) Análisis temporal del juego y clasificación de los desplazamientos según observaciones subjetivas del investigador cronometrando el tiempo empleado en cada categoría de movimiento.
- (iii) Análisis de la velocidad de los desplazamientos y su clasificación en categorías tomando como referencia los intervalos de velocidades establecidos de antemano.

Esta última aproximación, aplicada con técnicas experimentales validadas resulta ser la de mayor rigor puesto que la distribución de la distancia total recorrida en distintas categorías de movimiento se ha realizado generalmente bajo criterios subjetivos del observador (Van Cauters & Vrijens, 1984, en Van Gool *et al.*, 1988) lo que lleva consigo un mayor error de precisión.

El hecho de que los estudios hayan sido realizados con uno u otro método da lugar a una variada nomenclatura en la exposición de los resultados. A pesar de que los estudios realizados con diferentes metodologías y con distintas categorías de movimientos sean difíciles de comparar entre sí (Tumilty, 1993), con el fin de tener

una representación de como se distribuyen los desplazamientos de los deportistas durante el juego en la Tabla 1.2 se muestra la distribución porcentual de la distancia total recorrida por el árbitro en función de las categorías de desplazamiento adoptadas en cada estudio.

Tabla 1.2 Distribución porcentual de la distancia total recorrida por los árbitros en función del tipo de desplazamiento realizado.

Autor	Año	Andar	Trotar	Correr	Alta Int.	Espalda
Asami <i>et al.</i>	1988	33,8	48,5	17,7		10,8
Catterall <i>et al.</i>	1993	23	47	11,8		18,2
Johnston & McNaughton	1994	18,9	46,6	12,1	6,2	16,2
Harley <i>et al.</i>	2001b	41,8	46,4	3		8,8
Castagna & D'Ottavio	2001	8,4	41,8	23,7	16,5	9,6
D'Ottavio & Castagna	2001a	7,8	36,7	22,7	19	13,7
D'Ottavio & Castagna	2001b	8,2	39,9	23,9	17,2	8,6
Krustrup & Bangsbo	2001	38,5	19,2	16,88	16,7	8,5
Castagna <i>et al.</i>	2002a	8,2	40,7	24,4	17	9,5
Castagna <i>et al.</i>	2004a	⁽¹⁾ 6,17	39,73	27,11	18,35	7,28
		⁽²⁾ 6,53	43,49	22,84	14,64	9,19

Nota: ⁽¹⁾ árbitros nacionales; ⁽²⁾ árbitros internacionales.

La disparidad en los resultados obtenidos en algunas categorías de movimientos podría justificarse por la distinta técnica experimental empleada y por la variada clasificación de las intensidades. Esta diferencia es más manifiesta al comparar las categorías de andar y de carrera entre los estudios que han realizado clasificaciones subjetivas de los esfuerzos (Asami *et al.*, 1988; Catterall *et al.*, 1993; Harley *et al.*, 2001b; Krustrup & Bangsbo, 2001) que en los que se emplearon

técnicas para la determinación de la posición de los deportistas mediante potenciómetros (D'Ottavio & Castagna, 2001a,b; Castagna et al., 2002a y 2004a).

En el caso de los árbitros asistentes al haber únicamente un artículo publicado en la bibliografía internacional en el que se exponga la distribución de la distancia total recorrida en intensidades (Krustrup *et al.*, 2002) no existe divergencia en cuanto a los resultados que, a modo de resumen, se representan en la Figura 1.9.

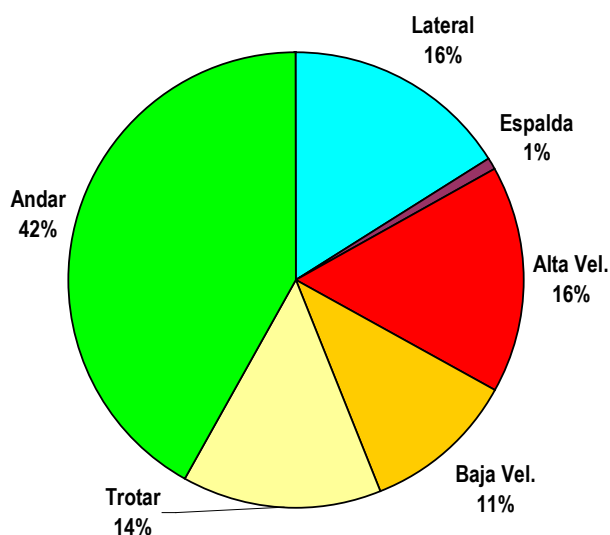


Figura 1.9 Distribución porcentual de la distancia recorrida por los árbitros asistentes en función del tipo de desplazamiento realizado. (Datos tomados de Krustrup *et al.*, 2002).

Además de la distribución porcentual de la distancia total recorrida en distintas categorías de esfuerzo Krustrup & Bangsbo (2001) hacen referencia al porcentaje de tiempo empleado en cada categoría. Estos datos muestran como el árbitro permanece parado durante el 21,8% del tiempo total de juego, camina durante el 41,4%, realiza carrera a una intensidad baja el 24,7%, carrera a una intensidad alta el 6,2%, sprinta el 0,5% y se desplaza de espalda el restante 5,5% del partido.

La distribución temporal de los esfuerzos de los árbitros asistentes en categorías realizada por Krustup *et al.* (2002) refleja que durante el 43,9% del tiempo total de juego permanecen estáticos, caminan un 32,8%, corren a velocidades bajas el 12,6%, a mayores velocidades el 3,3% y sprintan el 0,8% y los desplazamientos en forma de carrera lateral y de espalda abarcan el 6,7%.

Existen muchos más estudios publicados en relación con la distribución de los esfuerzos en los futbolistas por lo que, a modo de resumen, se podría señalar que recorren aproximadamente un 70-75% de la distancia total de los partidos a una baja y media intensidad mientras que el 25-30% restante corresponde a las acciones de alta intensidad (Rienzi *et al.*, 2000; Zubillaga, 2004; Masaach, 2004). En relación al tiempo total de juego, los esfuerzos realizados a una baja velocidad suponen aproximadamente el 60% del partido, las acciones a una intensidad media el 30%, mientras que el 10% restante estaría ocupado en la realización de acciones una elevada intensidad (Bangsbo *et al.*, 1991; Mohr *et al.*, 2003).

Al analizar la distribución de los esfuerzos de un mismo jugador a lo largo de varios partidos parece que existen muy pocas diferencias en los tiempos empleados en correr a la máxima velocidad (Bangsbo *et al.*, 1991), por lo que este parámetro puede aportar un criterio cualitativo de intervención del futbolista en el juego por su mayor reproductividad y por ello recibe un especial tratamiento en el siguiente apartado.

Otra manera de profundizar en el conocimiento de la carga que conlleva el juego es mediante el análisis de la frecuencia, duración e intensidad de los esfuerzos y su relación con las pausas de recuperación. Para llevar a cabo este tipo de consideraciones el método desarrollado por Bangsbo *et al.* (1991) es

particularmente útil. Además, al haber realizado el mismo grupo de investigación danés trabajos con muestras de árbitros (Krustrup & Bangsbo, 2001), árbitros asistentes (Krustrup *et al.*, 2002) y futbolistas (Bangsbo *et al.*, 1991; Mohr *et al.*, 2003) se puede comparar la frecuencia con que cada acción acontece en las tres poblaciones de deportistas (Tabla 1.3).

Tabla 1.3 Frecuencia de las actividades realizadas por los árbitros, árbitros asistentes y futbolistas durante los partidos.

Categoría	Árbitros	Árb. asistentes	Futbolistas 1991	Futbolistas 2003
<i>De pie</i>	158	240	122	163
<i>Andando</i>	361	328	329	379
<i>Trotando</i>	302	161	253	316
<i>Carrera baja int.</i>	208	100	251	198
<i>Lateral/Espalda</i>	78	115	26	73
<i>Moderada int.</i>	110	56	120	109
<i>Alta intensidad</i>	38	33	57	69
<i>Sprint</i>	14	20	19	39
Total	1269	1053	1179	1346

Este tipo de información es importante para conocer las demandas energéticas de cada actividad y facilita la prescripción del entrenamiento (Wilkins *et al.*, 1991) además de proporcionar una indicación del trabajo necesario para realizar las aceleraciones y desaceleraciones durante los partidos (Krustrup *et al.*, 2002).

El número total de acciones efectuadas por los futbolistas durante un encuentro ha aumentado desde las 843 registradas en futbolistas ingleses en los años setenta (Reilly & Thomas, 1976) pasando por las 1.179 realizadas por jugadores daneses a

finales de los años ochenta (Bangsbo *et al.*, 1991) hasta llegar a las 1.346 reflejadas por Mohr *et al.* (2003) al estudiar a futbolistas italianos del máximo nivel, lo que denota la evolución de la intensidad del juego y la necesidad de adaptarse continuamente a un entorno cambiante. Los estudios de Yamanaka *et al.* (1988) presentan resultados contradictorios a este respecto y fueron los jugadores que participaron en la Copa Intercontinental los que menor número de acciones realizaron (736) seguidos de los participantes en la Copa del Emperador de Japón (882) mientras que los jugadores universitarios hicieron 956. De nuevo la diferente metodología empleada en cada estudio y las distintas poblaciones analizadas sugieren cautela a la hora de extrapolar los resultados.

A partir de este tipo de estudios se ha podido determinar la duración media de los distintos tipos de acciones (Bangsbo *et al.*, 1991; Krustup & Bangsbo, 2001; Krustup *et al.*, 2002; Mohr *et al.*, 2003) lo que facilita la comprensión de la sucesión de las mismas durante el juego (Tabla 1.4).

Tabla 1.4 Duración media (en segundos) de las actividades realizadas por los árbitros, árbitros asistentes y futbolistas durante los partidos.

Duración media (s)	Árbitros	Árb. asistentes	Futbolistas 1999	Futbolistas 2003
De pie	7,8	10,9	7,8	7,0
Andando	6,4	5,9	6,7	6,4
Trotando	2,9	2,9	3,5	3,0
Carrera baja intensidad	2,5	2,4	3,5	2,6
Lateral/Espalda	4,0	3,2	3,6	2,7
Moderada intensidad	2,4	2,1	2,5	2,2
Alta intensidad	2,3	2,0	2,1	2,1
Sprint	1,8	2,1	2,0	2
Total	4,3	5,5	4,5	3,5

Características de los esfuerzos realizados a una alta intensidad

El desarrollo del juego ha propiciado un aumento del número de períodos de alta intensidad existiendo un consenso general entre los observadores que el fútbol se ha hecho más rápido e intenso en los últimos años (Tumilty, 1993) en especial a partir de 1990 (Reilly, 2000). Este hecho se puede corroborar observando el aumento del número de sprints realizados por los jugadores en los grandes campeonatos de selecciones nacionales (Figura 1.10).

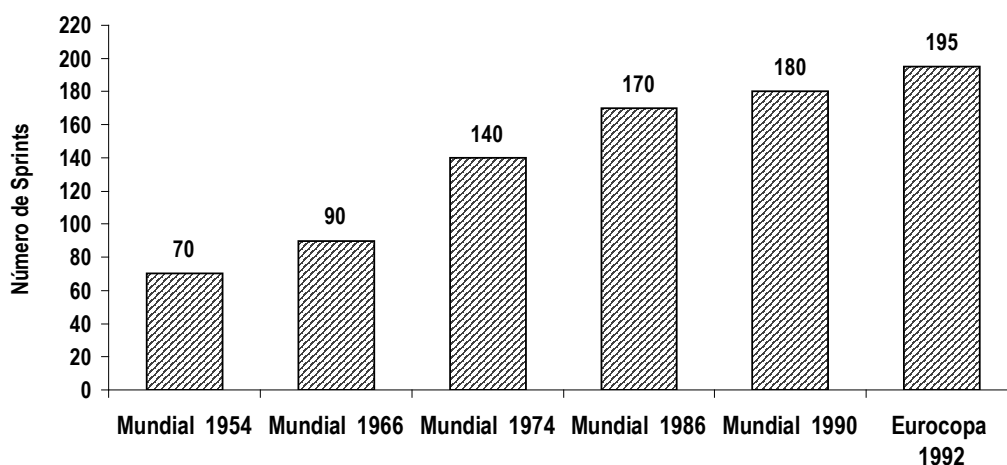


Figura 1.10 Evolución del número de acciones a la máxima intensidad (sprints) realizadas por los futbolistas en los partidos. (Datos tomados de Dufour, 1990).

Antes de profundizar en el estudio de este tipo de actividades resulta necesario establecer el criterio empleado para definir las acciones de alta intensidad. Según Bangsbo *et al.* (1991) éstas acciones (HIA o “High Intensity Activities”) son aquellas cuya velocidad lineal supera los 15 km/h, mientras que esta cifra se reduce a 13 km/h (D’Ottavio & Castagna, 2001a) o aumenta a 18 km/h (D’Ottavio & Castagna, 2001b,d; Castagna & D’Ottavio, 2001; Castagna *et al.*, 2002a,b; Castagna & Abt, 2003) según los objetivos de cada investigación. Estos criterios diferentes a la hora

de establecer el umbral mínimo de intensidad para definir la categoría ha dado lugar a resultados heterogéneos. La distancia total recorrida a una alta intensidad por los árbitros de fútbol durante los partidos oscila entre los valores que se pueden observar en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5 Umbrales mínimos de velocidad para definir la categoría de "Ejercicio a alta intensidad" y distancia media recorrida por los árbitros en dichos esfuerzos en distintos trabajos de investigación.

Autor	Año	Umbral mínimo	Distancia (m)	% total
Castagna & D'Ottavio	1999	18 km/h	1997	17,4
D'Ottavio & Castagna	2001a	13 km/h	4749	41,7
Krustrup & Bangsbo	2001	15 km/h	1690	16,8
D'Ottavio & Castagna	2001b	18 km/h	1973	17,2
Castagna & D'Ottavio Castagna, <i>et al.</i>	2001 2002b	18 km/h	1913	16
Castagna <i>et al.</i>	2002a	18 km/h	1978	17
Castagna & Abt	2003	18 km/h	2084-2256	18-19
Bangsbo <i>et al.</i>	2004b	15 km/h	1748	17,4
Castagna <i>et al.</i>	2004a	18 km/h	1642-2378	15-18

Los datos de Krustrup & Bangsbo (2001) muestran también como las acciones realizadas a una alta intensidad ocupan el 6,7% del tiempo total de partido.

En el caso de los árbitros asistentes la distancia recorrida por encima de los 15 km/h estuvo en el rango de los 1127 (Krustrup *et al.*, 2004a) a los 1.150 m (Krustrup *et al.*, 2002) lo que suponía un 15,6 y un 15,8% de la distancia total recorrida, respectivamente. En relación al tiempo total de juego las acciones de intensidad alta abarcaron el 4,1%.

A la hora de cuantificar la distancia recorrida a una intensidad elevada por los futbolistas durante los encuentros resulta necesario volver a incidir sobre la distinta metodología empleada en los estudios y el criterio utilizado para definir esta categoría de esfuerzos. Zubillaga (2004), sobre una amplia muestra de futbolistas de la primera división española durante la temporada 2003/2004 (6.112 registros de 45 minutos cada uno en 194 partidos), determina una distancia media de 1.251 m por encima de 14 km/h (2.502 m en 90 min, lo que representaba el 22,42% de la distancia total recorrida). Mohr *et al.* (2003) cifran la distancia recorrida por encima de los 15 km/h por futbolistas de nivel moderado en 1.900 m (18,30% de la distancia total) y por futbolistas de alto nivel en 2.430 m (22,38%). En otro estudio reciente realizado con futbolistas de alto nivel de la liga inglesa, con una muestra de 296 registros en 24 partidos, Rampinini *et al.* (2004) estimaron en 828 m (7,6%) la distancia recorrida por encima de los 19,8 km/h.

Al considerar los puestos específicos ocupados por los futbolistas Mohr *et al.* (2003) y Rampinini *et al.* (2004) coinciden en señalar que los centrales recorren una distancia significativamente inferior en este tipo de esfuerzos que los jugadores que ocupan las demarcaciones de laterales, centrocampistas y delanteros.

En relación al tiempo total de juego, los futbolistas que participan en la primera división inglesa ("Premier League") dedican aproximadamente el 10% del partido a esfuerzos de alta intensidad. (O'Donoghue & Parker, 2002).

En cuanto a la frecuencia con la que acontecen las acciones a una alta intensidad, los árbitros tienen un promedio de 161 acciones por partido con una duración media de 2,3 s (Krustrup & Bangsbo, 2001) y los árbitros asistentes establecen 109 acciones siendo su duración media de 2,1 s (Krustrup *et al.*, 2002). El número de

fases de ejercicio a una intensidad alta que realizan los futbolistas está en torno a las 100 repeticiones por partido, con una distancia media recorrida de alrededor de 15 m y una duración del esfuerzo de unos 5 s como valor promedio (Domínguez *et al.*, 1997).

Posicionamiento técnico

Además de poseer un adecuado nivel de condición física que les facilite el seguimiento del juego de cerca los árbitros deben de disponer de otra serie de cualidades que les permitan tomar las decisiones correctas durante los partidos que marcan el devenir de los encuentros (Martin *et al.*, 2001). Es por ello que el estudio de los parámetros cinemáticos debe complementarse con aspectos relativos a la técnica del arbitraje como podría ser el adoptar un adecuado posicionamiento durante el juego que facilita el seguimiento sin interferir en su desarrollo.

Los estudios que han tratado de analizar el proceso y calidad de la toma de decisión de los árbitros son escasos y han manejado distintos objetivos parciales. Van Meerbeek *et al.* (1987) (en Helsen & Bultynck, 2004) contaron el número de decisiones correctas e incorrectas tomadas por los árbitros durante el Mundial de México del año 1986. Al analizar un total de dieciséis partidos encontraron que el 17% de las decisiones tomadas (rango: 11-35%) eran incorrectas, aunque no se indica el criterio ni el método empleado para definir lo que era realmente una decisión correcta.

Un estudio similar al anterior, aunque mucho más completo, fue el llevado a cabo por Helsen & Bultynck en el año 2004, basado en la filmación de los treinta y un

partidos de la fase final de la Eurocopa del año 2000 y utilizando un programa interactivo (Videocoach 2.0, Sports 4S, Heverlee, Belgium) analizaron las decisiones a partir del lenguaje corporal de los árbitros. Todas las decisiones eran clasificadas en tres categorías: señalizaciones durante el juego (libres directos, indirectos, penaltys, etc.), relaciones de comunicación con los árbitros asistentes (antes de tomar una decisión) y otras decisiones (bote neutral, tarjetas amarillas y tarjetas rojas). Se realizaron una media de 137 decisiones observables por partido (104-162). La media de decisiones que el árbitro debía tomar por sí solo era de 44,4, siendo el mayor número de ellas los saques de banda. Del total de las decisiones un 64% se realizaban basándose en la comunicación con los asistentes. El número de decisiones en la categoría “otros” era de 12,5. El promedio de libres directos por partido fue de 37,3 y de libres indirectos de 0,6. El número de observaciones de las infracciones se mantuvo uniforme durante los seis períodos de 15 minutos del juego en los que se dividía el partido para el estudio. Si a esto se le suman las decisiones “no-observables” un árbitro podría llegar a las 200 decisiones por partido lo que representaría una media cercana a las 3 decisiones por minuto.

Una vez cuantificadas el número de decisiones que los árbitros realizan por partido resulta necesario considerar los factores que influyen en el proceso de toma de decisión. Harley *et al.* (2001b) analizaron la posición de catorce árbitros en partidos correspondientes a una liga regional en Inglaterra utilizando en cada partido a tres asesores independientes de los árbitros. Siguiendo un cuestionario de análisis del movimiento cada árbitro recibía una puntuación total en forma de porcentaje, pudiendo obtener un máximo de 50 puntos por período de juego. La puntuación final se obtenía de la suma de los elementos que formaban el cuestionario, siendo el 0% un posicionamiento siempre incorrecto y el 100% un posicionamiento siempre

correcto. La puntuación media de los catorce árbitros para la totalidad del partido fue del 65,4% (40-92%). La calidad del posicionamiento disminuyó significativamente del primer al segundo tiempo (70 vs. 62%), corroborando las conclusiones previas expuestas por Tomporowski & Ellis (1986) (en Martin *et al.*, 2001) sobre el efecto negativo de la fatiga que puede perjudicar a la precisión y a la velocidad de la toma de decisión de los árbitros.

Krustrup & Bangsbo (2001) comprobaron como la distancia media y la distancia pico a las infracciones era mayor en los segundos tiempos que en los primeros aunque esto ocurría solamente en la zona de ataque es decir, en la zona alejada más de 20 m de la línea divisoria de los campos. Para algunos árbitros la distancia pico a las infracciones excedía los 30-35 m lo que podría llevar a la toma de decisiones incorrectas. En relación a la edad de los jueces Bangsbo *et al.* (2004b) no encontraron diferencias respecto a la distancia media y máxima a las infracciones en árbitros de distintas edades: jóvenes (29-34 años), medianos (35-39 años) y mayores (40-46 años).

Existen también estudios enfocados hacia el análisis del posicionamiento de los árbitros asistentes como el llevado a cabo por Oudejans *et al.* (2000) para analizar la señalización de los fueros de juego. Estos autores concluyen en su estudio que el punto de observación de los árbitros asistentes en relación a la línea del fuera de juego es un factor determinante a la hora de juzgar las decisiones incorrectas.

El mismo grupo de investigación (Oudejans, 2003) ha seguido profundizando en este aspecto concluyendo que la mayor parte del tiempo el árbitro asistente está alejado de la línea del fuera de juego, lo que le otorga un punto de observación desde el cual los errores son ópticamente inevitables. Además, los árbitros

asistentes tienen problemas en la diferenciación en profundidad de los jugadores. Más allá de los 10 m, las diferencias en la visión en profundidad de los árbitros asistentes se ve empobrecida por las fuentes de información disponibles, disminuyendo la calidad de la observación.

Jordet (2002) afirma que el análisis de doscientos partidos internacionales y los trabajos experimentales realizados con árbitros asistentes holandeses ha permitido observar las limitaciones en el sistema perceptivo humano que pueden desembocar en errores a la hora de juzgar las situaciones conflictivas. De una manera más específica estos estudios han demostrado que los árbitros asistentes tienen dificultades para posicionarse correctamente en línea con el último defensor. Esto induce a que el ángulo creado entre el punto de observación, el último defensor y el atacante cree una falsa imagen en la retina del árbitro asistente y le lleve a juzgar erróneamente muchas situaciones.

Para mejorar la toma de decisión de los jueces se han desarrollado nuevos sistemas como el "Reference Point System" (sistema de punto de referencia; <http://www.rps.as>) que parece reducir los errores en el momento de juzgar las situaciones de fuera de juego. Se trata de un sistema de luces que ayuda al árbitro asistente a mantener un ángulo preciso con el juego facilitando la señalización de las posiciones antirreglamentarias. En un lateral del terreno de juego se instala un soporte de aluminio con luces prismáticas a una altura de 1,2 m. La luz emitida solamente es visible cuando el observador se sitúa en una posición opuesta otorgando al árbitro asistente un continuo sistema de referencia para ayudarlo a permanecer perpendicular al juego. Después de haberse habituado al uso del sistema los jueces pueden ver la luz prácticamente de una manera subconsciente a

través de la visión periférica proporcionándoles más tiempo para concentrarse en el juego.

Otro sistema en fase de desarrollo en Italia (Martinelli, 2004) consiste en una cámara instalada en el lateral del campo que proporciona una visión de 180º del terreno de juego. Las imágenes obtenidas son almacenadas y procesadas en tiempo real por un sistema informático que distingue la posición de los jugadores y de la pelota en el campo, pudiendo determinar las posiciones de fuera de juego. En el caso de que éstas se produzcan el sistema manda una información inalámbrica al árbitro asistente que decide si debe indicar la posición antirreglamentaria o no.

Además de las técnicas desarrolladas para facilitar la labor del árbitro asistente en la toma de decisión es otro factor que puede influir como es la fatiga. Krustup *et al.* (2002) observaron como aunque la distancia media a línea del fuera de juego (línea del penúltimo defensor) no aumentaba entre periodos, sí lo hacía la distancia pico a dicha línea, aumentando significativamente de 5 a 7 m del primer al segundo tiempo. En este estudio la distancia pico y media a la línea del fuera de juego era mayor en la zona de ataque que en la zona central del campo. En un estudio más reciente del mismo grupo de investigación Krustup *et al.* (2004a) encontraron que los árbitros asistentes de mayor edad (40-49 años) manejaban una distancia máxima a la línea del fuera de juego superior a la de los árbitros asistentes jóvenes (31-39 años).

1.2.2 Respuesta fisiológica durante la competición

Las demandas fisiológicas que supone la práctica del fútbol pueden expresarse por la intensidad a la que se realizan las distintas actividades características del deporte (Reilly, 1996a). Históricamente no han sido muchos los fisiólogos deportivos atraídos hacia el análisis del fútbol en detalle por la falta de modelos experimentales adecuados para estudiar el juego en condiciones de laboratorio. Tampoco han sido bien recibidos por los futbolistas que se han mostrado escépticos sobre el papel de los fisiólogos y sospechosos ante la posible influencia de la ciencia en el juego (Reilly, 1990).

A lo largo de este apartado se hará referencia a los distintos estudios publicados en la bibliografía internacional que han abordado la monitorización de parámetros fisiológicos de los deportistas –árbitros, árbitros asistentes y futbolistas- durante la práctica del fútbol. Este tipo de análisis contribuye a aumentar el conocimiento sobre las demandas que supone el juego al tiempo que facilita la programación y prescripción de ejercicios de entrenamiento acordes a los requerimientos metabólicos específicos del fútbol.

1.2.2.1 Obtención de la energía por la vía aeróbica

Al igual que sucedía con los estudios que intentaban describir la participación del deportista en la competición las primeras investigaciones desde el ámbito de la fisiología realizadas sobre el presente objeto de estudio manejaban el propósito de determinar el gasto metabólico total que suponía la práctica del deporte, es decir,

cuantificar la cantidad de energía consumida durante un encuentro de fútbol (Reilly, 2000).

El coste energético de una actividad física también podría estimarse a partir de la distancia total recorrida, donde se consumen aproximadamente 200 mililitros de oxígeno por kilogramo de masa corporal por cada kilómetro de distancia recorrido (di Prampero *et al.*, 1993). En el ámbito del fútbol este cálculo podría derivar en una subestimación porque el deportista realiza continuamente cambios de intensidad en el esfuerzo.

El estudio del gasto energético que supone la realización de una actividad física se ha enfocado tradicionalmente desde dos aproximaciones distintas en el campo de la fisiología, con sus consiguientes ventajas y limitaciones. La manera más válida resulta de medir directamente el consumo de oxígeno sobre el deportista mientras compite para poder determinar posteriormente el gasto energético que supone la actividad. Aunque cuenta con la ventaja de tratarse de una determinación directa, el gran inconveniente de este método viene de la necesidad de llevar un equipo de análisis de gases por el deportista que, aunque su peso se ha aligerado en los últimos años, resulta incompatible con la práctica del fútbol a nivel competitivo.

Debido a que resulta imposible competir con un equipo analizador de gases a la espalda, la segunda aproximación sería la estimación del gasto metabólico total a partir del registro de un parámetro indirecto como la frecuencia cardiaca, de más fácil monitorización a lo largo del juego, y su posterior relación con el consumo de oxígeno obtenido durante una prueba en laboratorio.

Recientemente se han desarrollado nuevos métodos para el cálculo del gasto energético diario como el método de “doubly labelled water” (agua doblemente etiquetada) empleado con jugadores japoneses (Ebine *et al.*, 2002). Esta técnica se fundamenta en suministrar por vía oral $^2\text{H}_2^{18}\text{O}$ y requiere el muestreo de la saliva y de la orina, además de tener que realizar un análisis de los isótopos para estimar el gasto energético total.

Descartando esta última técnica por la escasez de referencias en la bibliografía internacional sobre su utilización, a continuación se exponen los principales estudios llevados a cabo en el ámbito del fútbol para calcular el gasto energético bien directamente, a través del registro directo del consumo de oxígeno, o bien indirectamente mediante de la monitorización de la frecuencia cardiaca durante el juego y estudiando su relación con el consumo de oxígeno obtenido en situación de laboratorio.

Consumo de Oxígeno

Los primeros estudios que realizaron medidas directas del consumo de oxígeno durante el juego corresponden a los años sesenta. Covell *et al.* (1965) (en Reilly, 1990) utilizaron bolsas de Douglas para el almacenamiento del oxígeno, estimando en el rango de 22 a 44 kJ/min el gasto energético que suponía la práctica del fútbol. Valores similares a los de este estudio fueron obtenidos por Durnin & Passmore (1967) (en Reilly, 1990) que estimaron los requerimientos energéticos en un rango que iba de 21 a 50 kJ/min (5-12 kcal/min)⁽⁵⁾, concluyendo que pocos jugadores sobrepasaban un gasto energético de 2512 kJ (600 kcal) durante un partido.

⁽⁵⁾ 1kcal = 4,1855 kJ

Yamaoka (1965) (en Reilly, 1996a) estimó el gasto energético en 32,3 kJ/min al realizar su estudio con jugadores universitarios japoneses en una situación de práctica de fútbol a nivel recreativo, lo que puede provocar una subestimación de los valores obtenidos si se comparan los resultados con los partidos de competición. En términos relativos, el consumo de oxígeno durante el juego suponía una o dos veces el gasto energético basal para los porteros y entre cinco y siete veces el gasto energético basal para el resto de futbolistas de campo. El coste adicional de un partido de fútbol sobre el metabolismo basal sería de 2461 kJ (588 kcal). De este modo, si el gasto energético en reposo es de 5 kJ/min, durante la práctica del fútbol el mismo se elevaría a unos 32,2 kJ/min (Reilly, 1990).

Seliger llevó a cabo en 1968 (en Reilly, 1990) un estudio con jugadores checoslovacos, equipados con un respirómetro en su espalda, para calcular el consumo de oxígeno. El consumo de oxígeno fue de 35,5 ml/kg/min con un gasto energético total de 4.940 kJ (54,8 kJ/min) y un volumen ventilatorio medio de 76 l/min. En un estudio previo realizado por este mismo autor el consumo de oxígeno fue de 3,18 l/min, lo que correspondería a un gasto de 5.191 kJ para el total del partido (Seliger, 1968, en Reilly, 1990).

En un trabajo más reciente Ogushi *et al.* (1993) obtuvieron valores de consumo de oxígeno en dos jugadores universitarios japoneses durante partidos amistosos de entre 35-38 ml/kg/min (56-61% del máximo) y 29-30 ml/kg/min (47-49%) para el primer y segundo tiempo, respectivamente. El registro se realizó respirando los jugadores en una máscara y llevando en su espalda una bolsa de Douglas de 200 l de capacidad para recoger los gases espirados durante cada mitad del juego. El peso de este kit era de unos 1.200 gr. Como a los jugadores se les registraba también la frecuencia cardiaca durante el juego se puede verificar que los valores

de consumo de oxígeno relativos estaban entre un 30 y 50% por debajo de los que teóricamente les hubiese correspondido según las curvas de regresión frecuencia cardiaca-consumo de oxígeno (FC-VO₂) obtenidas en condiciones de laboratorio.

Según los datos presentados en estos estudios la práctica del fútbol parece tener una intensidad más moderada de la que inicialmente se preveía, al tiempo que se producen grandes errores al estimar la intensidad del juego a partir de la relación entre la frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno obtenida en laboratorio. En cualquier caso sería necesario matizar que este tipo de técnicas experimentales pueden suponer una limitación al rendimiento del deportista, puesto que arbitrar o jugar con un equipo analizador de gases portátil a la espalda y respirando por una máscara dificulta la prestación y puede hacer que el deportista trabaje a un intensidad menor a la habitual. Además el ritmo de juego suele ser menor en los partidos amistosos que los de competición y el nivel de los jugadores también puede incidir en el mismo.

Este aspecto ha sido ratificado en estudios posteriores como el realizado por Rodríguez (1994) en el que midió directamente el consumo de oxígeno a tres jugadores profesionales durante un partido de entrenamiento intenso que consistía en dos tiempos de 40 min utilizando un equipo portátil Cosmed K2. Este equipo es un sistema telemétrico para el análisis de gases cuyo peso está en torno a los 800 gr. El consumo de oxígeno medido con este método fue comparado con el consumo de oxígeno estimado a partir del registro de la frecuencia cardiaca y la relación FC-VO₂ obtenida en condiciones de laboratorio al realizar una prueba sobre tapiz rodante. Durante el juego los valores medios de consumo de oxígeno fueron del 43,3 al 69% del máximo (1.892-3.428 ml/min), alcanzando unos picos del 69 al 102% del máximo (3.023-4.662 ml/min). De modo general, Rodríguez (1994)

concluyó que el consumo de oxígeno medio durante el juego correspondía al 60% del máximo aunque dos de los jugadores, un centrocampista y un defensa, se aproximaban al 70% del máximo. El gasto energético que suponía la totalidad partido se cifraba en torno a los 4.518 kJ con un gasto por minuto de 50,2 kJ.

Partiendo del trabajo anterior Rodríguez & Iglesias (1998) ampliaron la muestra con seis futbolistas amateurs que realizaron una prueba incremental máxima en laboratorio y posteriormente se les registró el consumo de oxígeno directamente, una media de 32 min por jugador, durante un partido amistoso. El consumo energético medio para los seis jugadores fue de 47,4 kJ/min, valor que parece ser inferior a las estimaciones previas realizadas. La intensidad relativa del juego, calculada a partir de los registros de la frecuencia cardiaca, era del 76% del consumo máximo de oxígeno ($VO_{2m\acute{a}x}$), produciéndose una sobreestimación media del 15%, que se podría deber a distintos factores: stress emocional, térmico, diferencias entre el cálculo de la relación FC- VO_2 en una prueba continua o intermitente, etc.

El método indirecto de estimación del consumo de oxígeno -según su relación con la frecuencia cardiaca- mostraba una “moderada sobreestimación del consumo de oxígeno, tendencia sospechada, aunque no demostrada en Reilly (1990) y Bangsbo (1994c)” (Rodríguez, 1994) que, como media, fue del 15,4% para los tres futbolistas profesionales, manifestándose especialmente este excedente en el ejercicio desarrollado a intensidades bajas y medias. En otros deportes, como en partidos individuales de tenis, también se ha observado una sobreestimación del 17% al comparar la estimación del consumo de oxígeno a partir de la respuesta de la frecuencia cardiaca con la medición directa del mismo (Christmass *et al.*, 1998, en Coutts *et al.*, 2003).

Otra investigación similar fue llevada a cabo con cuatro árbitros italianos de alto nivel (D'Ottavio & Castagna, 2001d) durante los primeros tiempos –45 min- de partidos amistosos. Al comparar los dos métodos anteriores para conocer el consumo de oxígeno durante el juego cifraron en un 9% la sobreestimación que se producía al determinar el consumo de oxígeno a partir de la relación FC-VO₂ obtenida en una prueba incremental realizada sobre una pista de atletismo, similar al test de Léger & Boucher (1980), en la que los árbitros también utilizaron el sistema Cosmed K2. Esta diferencia podría deberse a que la prueba realizada para calcular el VO_{2máx} fue continua y el fútbol es un deporte intermitente, lo que según Balsom *et al.* (1992b) podría provocar un aumento de la frecuencia cardíaca por encima del consumo de oxígeno pudiendo influir también factores emocionales (Rohde & Espersen, 1988; Catterall *et al.*, 1993). Mientras que el consumo de oxígeno medio registrado durante el primer tiempo de los partidos fue del 67,6% del VO_{2máx}, la frecuencia cardíaca media (FC_{med}) fue del 88,8% de la máxima. La distancia recorrida en los primeros tiempos de estos partidos amistosos era similar a la recorrida durante los partidos de competición.

Existen diversos factores que inciden en el consumo de oxígeno durante el juego y cuya influencia ha sido estudiada en situaciones de laboratorio. Durante los partidos los árbitros recorren en torno al 8-16% de la distancia total en forma de carrera de espalda (Asami *et al.*, 1988; Castagna & D'Ottavio, 2001; Krstrup & Bangsbo, 2001) mientras que los árbitros asistentes recorren aproximadamente el 16% de la distancia en forma de carrera lateral (Krstrup *et al.*, 2002). Para estudiar la influencia de este tipo de desplazamientos “no ortodoxos” sobre el gasto energético, Reilly & Bowen (1984) plantearon un estudio en el que nueve futbolistas corrían sobre un tapiz rodante a velocidades de 5, 7 y 9 km/h en distintas formas de desplazamiento para calcular el sobrecoste fisiológico de la actividad (Tabla 1.6).

Tabla 1.6 Gasto energético y gasto percibido (media $\pm$ ds) en tres tipos distintos de desplazamiento a tres velocidades diferentes. (Reilly & Bowen, 1984).

Velocidad (km/h)	Carrera de frente	Carrera de espalda	Carrera lateral
Gasto energético (kJ/min)			
5	37,0 $\pm$ 2,6	44,8 $\pm$ 6,1	46,6 $\pm$ 3,2
7	42,3 $\pm$ 1,7	53,4 $\pm$ 3,5	56,3 $\pm$ 16,1
9	50,6 $\pm$ 4,9	71,4 $\pm$ 7,0	71,0 $\pm$ 7,5
Gasto percibido --> Según escala de Börg			
5	6,7 $\pm$ 0,1	8,6 $\pm$ 2,0	8,7 $\pm$ 2,0
7	8,0 $\pm$ 1,4	11,2 $\pm$ 2,9	11,3 $\pm$ 3,2
9	10,2 $\pm$ 2,1	14,0 $\pm$ 2,0	13,8 $\pm$ 2,5

Los resultados expuestos en la tabla anterior permiten constatar como los desplazamientos en forma de carrera de espalda y carrera lateral requieren un coste energético, tanto real como percibido, semejante y siempre mayor que la carrera de frente. Además, los incrementos en el gasto energético no son proporcionales al aumento de la velocidad de los desplazamientos.

La longitud y la frecuencia de la zancada puede ser otro factor que incida en el gasto energético de los deportistas. Los atletas experimentados eligen una longitud y frecuencia de zancada que se acerca a su rendimiento óptimo, es decir, que les permite economizar los esfuerzos. El aumento o disminución de la longitud de zancada por encima de aquella que cada individuo ha elegido personalmente deriva en un aumento del consumo de oxígeno para una determinada velocidad de carrera (Cavanagh & Williams, 1982).

En el caso de los futbolistas además de las características propias de la carrera, habría que añadir la posibilidad que tienen de participar en el juego con el balón, lo

que puede entrañar en un aumento adicional del gasto energético. Reilly & Ball (1984) llevaron a cabo un estudio sobre un tapiz rodante para comparar la diferencia entre la carrera habitual y la conducción de la pelota a distintas velocidades (9, 10,5, 12 y 13,5 km/h) durante períodos de 5 min. Para llevar a cabo la investigación colocaron delante del tapiz una caja que permitía que la pelota rebotase y regresase al pie del jugador después de cada contacto.

Durante la conducción del balón sobre el tapiz se registraba el consumo de oxígeno en los minutos 3, 4 y 5 de cada serie y se calculaba la frecuencia de zancada en los minutos 3 y 5. Al finalizar cada estadio el sujeto debía valorar subjetivamente el esfuerzo realizado según la escala de Börg (1970). Tres minutos después de concluir cada serie tomaban una muestra de sangre para analizar la concentración de lactato. Se pudo comprobar que el coste energético de conducir la pelota (tocando la pelota una vez cada dos o tres zancadas completas) aumentaba linealmente con la velocidad. Este coste adicional de conducir la pelota se cifraba en 5,2 kJ/min. Analizando las concentraciones de lactato en función de la velocidad de carrera Reilly & Ball (1984) concluyeron que correr con el balón a 10,7 km/h suponía el mismo gasto energético que correr sin el balón a 11,7 km/h dando una idea del stress adicional que supone la conducción del balón. Para todas las velocidades estudiadas la concentración de lactato aumentaba siempre al añadir la conducción de balón. Al realizar la conducción llevando la pelota cerca del pie aumentaba la frecuencia de zancada y disminuía la amplitud de la misma, lo que implicaba a su vez un incremento en el consumo de oxígeno. Como término medio, la frecuencia aumentaba 12,7 zancadas por minuto para todas las velocidades estudiadas al comparar la conducción de balón y la carrera normal.

El consumo de oxígeno también ha sido estudiado durante distintas situaciones de entrenamiento de los futbolistas. En uno de estos estudios (Kawakami *et al*, 1992, en Bangsbo 1994a,d,e) los jugadores llevaban consigo el sistema portátil Cosmed K2. Dentro de los ejercicios analizados el mayor consumo de oxígeno se obtenía en las situaciones de “dribbling” (conducción) con un consumo absoluto de 4 l/min, mientras que en juegos reducidos de uno contra uno o tres contra uno los valores estaban en el rango de 2 a 4 l/min.

Todos estos datos resultan muy importantes para interpretar las demandas que experimentan los árbitros -que realizan más carrera de espalda que los futbolistas- y los árbitros asistentes -que recorren mayor número de metros en forma de carrera lateral-. Ambos tipos de desplazamientos llevan consigo un mayor gasto energético que la carrera de frente que puede llegar a ser del 20 al 40%. Además los constantes cambios de actividad durante el juego puede hacer que se eleve el gasto energético por encima de los valores obtenidos durante un ejercicio continuo (Tumilty, 1993).

Frecuencia cardíaca

Teniendo en cuenta que la determinación directa del consumo de oxígeno resulta imposible de llevar a cabo durante la competición oficial en cualquier deporte y muy difícil de realizar durante los entrenamientos, por el elevado coste de los equipos y la incomodidad resultante de llevar dicho material para los deportistas, la alternativa que tradicionalmente se ha planteado es el uso de la frecuencia cardíaca como variable indirecta para la estimación del consumo de oxígeno.

Algunos estudios (Dufour, 1982; Vogelaere *et al.*, 1989, ambos en Domínguez *et al.*, 1997) señalan que la estimación del gasto energético a partir de la frecuencia cardiaca registrada durante el juego puede dar lugar a errores al ser posible que las pulsaciones aumenten durante fases del partido por factores estresantes (presión ambiental, situación psicológica personal, cambios hormonales, etc.) derivando en imprecisiones sobre la relación FC-VO₂ obtenida en condiciones de laboratorio.

Ante estas y otras posibles restricciones sobre el significado y utilidad del registro de la frecuencia cardiaca durante el juego Bangsbo (1994a) expone un razonamiento argumentado metodológicamente para defender la idoneidad de monitorizar este parámetro durante la práctica del fútbol. Este autor justifica la monitorización de la frecuencia cardiaca durante el juego amparado en que los valores de VO_{2máx} son similares al realizar una prueba en laboratorio continua e intermitente. Además, la importancia del componente emocional en la elevación de la frecuencia cardiaca quedaría minimizada en un deporte en el cual se emplean grandes masas musculares y se mantiene una elevada intensidad durante todo el tiempo.

Para cada individuo la frecuencia cardiaca estaría relacionada con el consumo de oxígeno siempre y cuando las condiciones ambientales fueran similares y parecida la masa muscular empleada en el ejercicio y dada la relativa sencillez que supone hoy en día su registro, ha facilitado la proliferación de estudios analizando el comportamiento de esta variable sobre todo en situaciones de entrenamiento (Flanagan & Merrick, 2001) tratándose del método más empleado para calcular la intensidad del ejercicio realizado en campo (Achten & Jeukendrup, 2003). El registro de la frecuencia cardiaca ha sido utilizado también para monitorizar las

demandas del juego en poblaciones de jugadores jóvenes (Drust & Reilly, 1997; Capranica *et al.*, 2001).

En los primeros trabajos de investigación sobre este ámbito de estudio las restricciones en las técnicas instrumentales disponibles provocaba que la frecuencia cardiaca sólo se pudiese registrar a la conclusión de los partidos, siendo imposible su adquisición simultánea con el juego. Se ha constatado en varios estudios que la frecuencia cardiaca medida inmediatamente a la conclusión de un partido no refleja la FC_{med} del juego (McArdle *et al.*, 1969; Ramsey *et al.*, 1970, ambos Ali & Farrally, 1991b) por lo que su cálculo al finalizar los partidos no resultaba ser un parámetro válido para caracterizar la demanda aeróbica que suponía el esfuerzo.

El desarrollo de los primeros sistemas de telemetría permitió el registro de la frecuencia cardiaca en el transcurso del juego aunque el hecho de ser el fútbol un deporte de contacto dificultaba el registro de los datos debido a que los equipos disponibles eran pesados y se corría el riesgo de que los electrodos utilizados se pudiesen despegar.

Hoy en día el registro de la frecuencia cardiaca se realiza a partir de aparatos más desarrollados –pulsómetros– que constan de una banda con electrodos que se coloca en el pecho para registrar las pulsaciones y un receptor de pulsera donde se almacenan los datos. Los modelos más desarrollados de pulsómetros tienen capacidad para almacenar los resultados en la propia banda no siendo necesario llevar el receptor de pulsera facilitando su uso en los deportes en los que existe un contacto físico.

Para la validación de este tipo de técnicas experimentales se han llevado a cabo registros de la frecuencia cardiaca durante la realización de desplazamientos similares a los habitualmente realizados durante los partidos de fútbol utilizando pulsómetros y técnicas estándar de electrocardiografía, encontrándose resultados similares entre ambas medidas con una diferencia entre los dos métodos nunca superior a las 2 p/min (Ali & Farrally, 1991b).

Diversos estudios han analizado el comportamiento de la frecuencia cardiaca en los árbitros a lo largo de los partidos de fútbol. La Tabla 1.7 recoge los valores medios de esta variable habiéndose publicado unos valores muy homogéneos, cuyo promedio son 160 p/min.

Tabla 1.7 Frecuencia cardiaca media de los árbitros durante la competición en el fútbol.

Autor	Año	FC_{med} (p/min)
Catterall <i>et al.</i>	1993	165
Johnston & McNaughton	1994	163
D'Ottavio & Castagna	2001a	163
Krustrup & Bangsbo	2001	162
Harley <i>et al.</i>	2001b	162
Weston & Brewer	2002	153
Carvahlo <i>et al.</i>	2004a	153
Bangsbo <i>et al.</i>	2004b	162
Helsen & Bultynck	2004	155

Los valores de FC_{med} obtenidos durante los partidos en los árbitros asistentes muestran unos valores más moderados: 134 (Krustrup *et al.*, 2004a), 137 (Krustrup *et al.*, 2002) y 140 p/min (Helsen & Bultynck, 2004).

En el caso de los futbolistas la FC_{med} registrada en los primeros estudios llevados a cabo muestran unos resultados similares a los obtenidos en los más recientes. Así Seliger (1968) encontró que la FC_{med} para un jugador checoslovaco monitorizado durante 10 min de un partido de entrenamiento era de 165 p/min (Reilly, 1990) mientras que Agnevik (1970) elevó dicho valor hasta las 175 p/min al estudiar a un jugador sueco durante un encuentro (Bangsbo, 1994a). Estos valores pueden servir de reflejo del stress cardiaco que supone la práctica del fútbol pudiéndose concluir que los valores medios de frecuencia cardiaca para los futbolistas durante los partidos está en torno a las 160-170 p/min (Ali & Farrally, 1991b; Krstrup *et al.*, 2004b).

Aunque los jugadores presentan una traza regular de la frecuencia cardiaca a lo largo del juego (Pirnay *et al.*, 1993), con un coeficiente de variación menor al 5% (Reilly, 1990), existen fases en las que, por la realización de sprints cortos y conducciones de balón, se produce un incremento de la frecuencia cardiaca (Hollman, 1979, en Domínguez *et al.*, 1997). Los períodos de recuperación durante el juego son cortos, ocurriendo entre seis y ocho veces por período y se corresponden casi siempre a las interrupciones reglamentarias del juego (Pirnay *et al.*, 1993) en los que la frecuencia cardiaca puede disminuir hasta las 121-150 p/min.

Por lo tanto el carácter intermitente del juego hace que tras las fases de alta intensidad, como la realización de una o dos carreras cortas de manera consecutiva, la frecuencia cardiaca pueda aumentar hasta las 160-180 p/min mientras que en los períodos de baja intensidad puede descender hasta las 130-140 p/min (Madureira, 1989, en Domínguez *et al.*, 1997), aunque muchas veces los aumentos no corresponden a los esfuerzos más intensos (Pinto, 1991, en

Domínguez *et al.*, 1997). En el caso de los árbitros se han llegado a registrar picos de hasta 200 p/min en partidos del más alto nivel competitivo (Catterall *et al.*, 1993).

Al igual que sucedía con el análisis de la participación cinemática del futbolista durante la competición el puesto específico ocupado por el futbolista es un factor que puede incidir en los valores de FC_{med} obtenidos durante el juego. En general la FC_{med} de los centrocampistas y los delanteros es mayor que la de los defensas (Van Gool *et al.*, 1988; Rohde & Espersen, 1988; Ali & Farrally, 1991b) siendo los porteros los que presentan índices más bajos entre todos los puestos con una FC_{med} que oscila entre las 124 (Reilly, 1990) y las 128 p/min (García Ocaña & Uriach, 1994).

El tratamiento de la frecuencia cardiaca en términos absolutos dificulta la comparación entre los resultados publicados en distintos estudios por la distinta capacidad cardiaca que cada deportista pueda tener y para facilitar la interpretación de los valores resulta más adecuado expresar la frecuencia cardiaca en términos relativos.

La manera tradicional de hacer relativos los valores de frecuencia cardiaca para cada deportista es expresándola como un porcentaje sobre su frecuencia cardiaca máxima ($FC_{máx}$). Para conocer la $FC_{máx}$ se requiere haber realizado previamente una prueba de esfuerzo que haya exigido una máxima sollicitación cardiaca. En ocasiones, para no someter al deportista a dicho stress fisiológico, se ha optado por calcular el citado parámetro a partir de fórmulas teóricas como:

$$FC_{máx} = 220 - \text{Edad del sujeto}$$

(Astrand & Rodahl, 1977, en Catterall *et al.*, 1993; Bangsbo, 1994b)

$$FC_{m\acute{a}x} = 209,2 - (0,74 \times \text{Edad del sujeto})$$

(Dill & Wasserman, 1964, en Meléndez, 1995)

Conociendo la $FC_{m\acute{a}x}$ del deportista y la FC_{med} del ejercicio realizado, se puede calcular la intensidad relativa del ejercicio (%FC) aplicando la siguiente fórmula:

$$\% FC = \left(\frac{FC_{med}}{FC_{m\acute{a}x}} \right) \times 100$$

Los valores de $FC_{m\acute{a}x}$ logrados por los árbitros durante el juego alcanzan las 184 p/min (Krustrup & Bangsbo, 2001) mientras que en los árbitros asistentes llegan hasta las 170 p/min (Krustrup *et al.*, 2002). En la Tabla 1.8 se muestran valores de FC_{med} de árbitros durante los partidos expresados en relación a la $FC_{m\acute{a}x}$ individual.

Tabla 1.8 Valores porcentuales de FC_{med} , en relación a la $FC_{m\acute{a}x}$ de los árbitros, durante los partidos.

Autor	Año	% $FC_{m\acute{a}x}$
Catterall <i>et al.</i>	1993	95
Harley <i>et al.</i>	2001b	90
D'Ottavio & Castagna	1999b	88,8
D'Ottavio & Castagna	2001a	89,1
Krustrup & Bangsbo	2001	85
Weston & Brewer	2002	89,6
Carvalho <i>et al.</i>	2004	80,2
Bangsbo <i>et al.</i>	2004b	85
Helsen & Bultynck	2004	85

Los porcentajes de $FC_{m\acute{a}x}$ alcanzados por los árbitros asistentes en los partidos de competición tienen valores medios que van del 72 (Krustrup *et al.*, 2004a) al 77% (Krustrup *et al.*, 2002; Helsen & Bultynck, 2004) en tanto que los futbolistas tienen porcentajes de $FC_{m\acute{a}x}$ similares a los de los árbitros: 80-90% (Van Gool *et al.*, 1988; Pirnay *et al.*, 1993; Castellano *et al.*, 1996; Mohr *et al.*, 2004c).

El hecho de que la FC_{med} alcance valores para los árbitros y futbolistas que están en torno al 85% de la $FC_{m\acute{a}x}$ indica que el sistema aeróbico se ve poderosamente exigido durante los partidos. Además las pulsaciones de los árbitros están por encima del 90% de la $FC_{m\acute{a}x}$ durante más de 25 min o el 28% del tiempo total del partido (Krustrup & Bangsbo, 2001), similar a lo que Rhode & Espersen (1988) describieron en los futbolistas.

Una vez definido el concepto de $FC_{m\acute{a}x}$ este parámetro puede utilizarse para calcular el tiempo empleado en distintas intensidades durante el juego, expresando éstas como un valor relativo a la $FC_{m\acute{a}x}$. Este tipo de categorización de la frecuencia cardiaca en intervalos, partiendo del nivel condicional del deportista, se emplea prioritariamente para evaluar el rendimiento del deportista durante la competición - conocer a que intensidad trabaja- y, sobre todo, para la prescripción de las intensidades en los entrenamientos en relación a un porcentaje de la $FC_{m\acute{a}x}$.

Otra manera de describir en términos relativos el stress fisiológico que supone la práctica deportiva es mediante el concepto de frecuencia cardiaca de reserva, que establece una relación entre la frecuencia cardiaca basal y la máxima del deportista a partir de la siguiente fórmula (Karvonen *et al.*, 1957; Karvonen & Vuorimaa, 1988, ambos en Hagerman, 2004):

$$\% FC \text{ reserva} = \frac{(FC_{med} - FC_{basal})}{(FC_{m\acute{a}x} - FC_{basal})} \times 100$$

Aunque este concepto tiene una mayor utilidad desde el punto de vista fisiológico debido a que expresa con mayor exactitud la carga del juego, ha sido utilizada en menor número de estudios. Chamoux *et al.* (1988) en su estudio con juveniles franceses de alto nivel hace referencia a que la FC_{med} durante el juego correspondía al 86% de la reserva de la frecuencia cardiaca y Reilly (1986) (en Reilly, 1990), calculó que los jugadores durante un partido amistoso se empleaban al 66% de la reserva (rango) de la frecuencia cardiaca.

Ante la dificultad que supone realizar el registro de la frecuencia cardiaca durante la competición por los posibles inconvenientes que para el futbolista puede suponer el llevar consigo un pulsómetro a lo largo del juego, muchos de los estudios se han realizado analizando partidos de entrenamiento. La distancia recorrida en algunos de estos partidos amistosos (Reilly, 1986, en Reilly, 1990) tenía tan solo una variación del 2% respecto a la distancia recorrida en los partidos de competición. Según estudios realizados en jugadores de balonmano (Roatino & Poty, 1983, en Lacour & Chatard, 1984) la misma acción tiene una frecuencia cardiaca más elevada si se realiza en competición que si se hace durante una sesión de entrenamiento. Del mismo modo la frecuencia cardiaca alcanzada era superior en la competición a la lograda durante una prueba de valoración de la condición física (Helsen & Bultynck, 2004).

A partir de estos estudios y utilizando las ecuaciones de regresión que establecen una relación lineal entre la frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno en situaciones de laboratorio se ha podido estimar que el arbitraje en el fútbol a nivel

competitivo supone un consumo medio de oxígeno entre el 70 y 80% del $\text{VO}_{2\text{máx}}$, tal y como se puede comprobar en la Tabla 1.9.

Tabla 1.9 Estimación del consumo de oxígeno por los árbitros en los partidos a partir de la respuesta de la frecuencia cardiaca durante el juego.

Autor	Año	Estimación del VO_2 (%)
Harley <i>et al.</i>	2001b	80
D'Ottavio & Castagna	2001d	74,3
Krustrup & Bangsbo	2001	81
Weston & Brewer	2002	80,5

La estimación del consumo de oxígeno para los árbitros asistentes durante los partidos de competición fue del 65% del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ (Krustrup *et al.*, 2002). Como se señaló anteriormente (Ogushi *et al.*, 1993; Rodríguez, 1994; Rodríguez & Iglesias, 1998; D'Ottavio & Castagna, 2001d) las estimaciones indirectas del consumo de oxígeno durante el juego muestran valores superiores a las obtenidas mediante el procedimiento directo. Las razones que pueden ayudar a explicar esta sobreestimación son variados al existir factores como las contracciones isométricas, el stress térmico y emocional que pueden elevar la frecuencia cardiaca por encima de la relación normal FC- VO_2 (Bangsbo, 1994a,d,e).

En el caso de los futbolistas, la estimación del consumo de oxígeno durante los encuentros muestra unos valores muy similares a los de los árbitros que se sitúan en el rango del 70-80% del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ (Ekblom, 1986; Van Gool *et al.*, 1988; Bangsbo, 1994d; Rodríguez & Iglesias, 1998; Mohr *et al.*, 2003c).

A partir de los valores de consumo de oxígeno estimados indirectamente tras el registro de la frecuencia cardiaca se podría realizar un cálculo aproximado del gasto energético que supone la actividad. Teniendo en cuenta que cada litro de oxígeno consumido equivale a 5 kcal, durante un partido de 97 min de duración (incluyendo los tiempos de prolongación de cada período) un árbitro consumiría 1702 kcal (7124 kJ) (Weston & Brewer, 2002).

Utilizando el mismo procedimiento, el gasto energético de un partido para un futbolista de 75 kg de peso, que durante el partido logra una frecuencia cardiaca de 165 p/min, lo que representa aproximadamente el 75% de su $VO_{2máx}$, estaría en torno a los 6.000 kJ con un gasto por minuto de unos 70 kJ (Reilly, 1997).

Según todo lo expuesto en la presente sección la monitorización de la frecuencia cardiaca puede utilizarse como un parámetro auxiliar que contribuya a cuantificar la carga que el deportista experimenta durante la competición. A partir del registro de la frecuencia cardiaca se pueden realizar estimaciones indirectas del gasto energético que supone la actividad y de como se distribuyen los esfuerzos, facilitando la comprensión de las demandas que supone el juego y proporcionando indicaciones para la prescripción de un entrenamiento específico. Debido a que los factores que inciden en la respuesta de la frecuencia cardiaca son variados y, en ocasiones los resultados presentados en los distintos estudios, contradictorios, es necesario un mayor número de investigaciones que profundicen en el comportamiento de este parámetro bajo distintas condiciones de competición.

1.2.2.2 Obtención de la energía por la vía anaeróbica

En las fases de ejercicio intenso en las que el organismo debe generar una alta cantidad de energía en poco tiempo existen dos vías principales para la resíntesis del adenosintrifosfato (ATP): el sistema ATP-fosfocreatina (PC) y la glucólisis anaeróbica.

La glucólisis anaeróbica se caracteriza por obtener energía a partir de la degradación de la glucosa o el glucógeno muscular mediante una serie de reacciones que dan lugar a un producto intermedio denominado ácido pirúvico. Una vez formado el ácido pirúvico esta molécula puede tener dos destinos distintos. Por un lado puede pasar a la mitocondria celular y oxidarse, entrando a formar parte de la cadena respiratoria y, por otro lado, puede formar ácido láctico.

La acumulación de ácido láctico puede constituir un factor limitante durante el ejercicio físico. Su medida se suele utilizar como un indicador de la obtención de la energía por la vía metabólica anaeróbica láctica ya que se trata de un parámetro sencillo de registrar; una pequeña muestra de sangre es suficiente para poder valorar su concentración. Bajo condiciones fisiológicas la molécula de ácido láctico se disocia inmediatamente en lactato e hidrogeniones, de ahí que en la literatura se empleen habitualmente los términos lactato muscular y lactato sanguíneo en lugar de ácido láctico muscular y ácido láctico sanguíneo (Brooks, 1985; Weltman, 1995).

A la hora de tomar muestras de sangre para el posterior análisis de la concentración de lactato resulta necesario respetar determinadas consideraciones metodológicas, especialmente aquellas que hacen referencia al lugar de extracción de la muestra de sangre, a la manipulación, almacenamiento y análisis de la

muestra y a la calibración del analizador (Bishop & Marino, 1993, en Ibañez & Gorostiaga, 2001).

Existen tres zonas distintas del cuerpo desde las cuales se puede extraer la sangre que son las arterias, las venas y los capilares. Tal y como indican López Calbet & Gorostiaga (2002) en el ámbito del deporte de rendimiento las extracciones de sangre suelen realizarse sobre sangre capilar arteriolizada siempre y cuando exista un buen flujo de sangre en la zona donde se va a llevar a cabo la extracción. Los lugares más habituales para obtener las muestras de sangre son la yema de los dedos o el lóbulo de la oreja.

En función del tipo de analizador empleado, el momento en el que se realice el análisis y el componente de la sangre a analizar, el tratamiento de la muestra de sangre obtenida será diferente (López Calbet & Gorostiaga, 2002). Bishop & Martino (1993) (en López Calbet & Gorostiaga, 2002) recomiendan realizar frecuentes calibraciones en los analizadores para asegurar una correcta medida.

En el deporte del fútbol la acumulación de lactato en sangre tiene un efecto negativo para el rendimiento habiéndose observado un empeoramiento en la ejecución de habilidades técnicas básicas tras una sesión de entrenamiento con una gran producción de lactato (Liesen, 1983, en Gerisch *et al.*, 1988; St. Mucke *et al.*, 1987, en Tumilty, 1993) viéndose afectados en mayor medida los jugadores con menor nivel técnico.

Los valores obtenidos durante el juego pueden subestimar la producción de lactato porque representan el balance entre la producción, la liberación y el aclaramiento, por lo que aunque la producción pueda ser elevada, la duración de los episodios de

ejercicio intenso suelen ser demasiado cortos para que den resultados elevados de lactato (Bangsbo *et al.*, 1991).

El lactato circulante puede ser metabolizado durante los intervalos de juego de menor intensidad (Bangsbo, 1994b) y servir como fuente de energía. El lactato muscular producido durante las fases intensas de ejercicio puede tener distintos destinos en el organismo. A modo de ejemplo, de las 9 unidades de lactato producidas durante un ejercicio realizado sobre tapiz rodante o cicloergómetro (Figura 1.11) 3 unidades permanecen en el músculo esquelético sirviendo como sustrato (se oxidan y producen ATP, dióxido de carbono y agua) mientras 5 unidades pasan al torrente sanguíneo. El destino de estas unidades de lactato es el riñón, hígado, corazón y demás músculos inactivos.

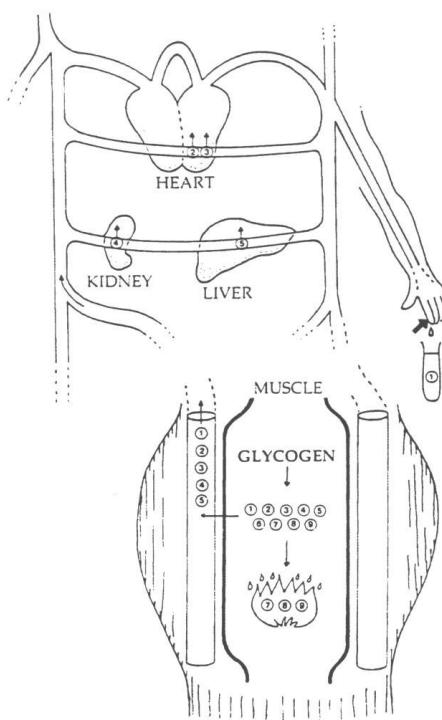


Figura 1.11 Destino del lactato producido durante el ejercicio. (Tomado de Bangsbo, 1994b).

Debido al carácter invasivo que supone la toma de muestras de sangre para determinar la acumulación de lactato la mayoría de los estudios se han realizado al concluir los partidos y, en ocasiones, también en los descansos, puesto que durante la competición oficial de fútbol resulta imposible tomar muestras a los deportistas.

Es por esto que los valores obtenidos a la conclusión de los períodos de juego reglamentarios muestran una enorme variabilidad y han propiciado la publicación de conclusiones antagónicas. Así mientras Astrand (en Domínguez *et al.*, 1997) registra valores máximos de concentración de lactato de 16 mmol/l, con valores frecuentes de 11 mmol/l, Labofise (en Domínguez *et al.*, 1997) recela que en el fútbol se superen los valores de 10 mmol/l de lactato plasmático mientras que Gorostiaga (1993) afirma que la tolerancia a elevadas concentraciones de lactato no parece ser un factor limitante del rendimiento en el fútbol.

Son más numerosos los estudios que corroboran ésta última conclusión, ya que, en general, los valores de lactato obtenidos por los futbolistas al final de los encuentros están en el rango de los 4 a 6 mmol/l (Gerisch *et al.*, 1988). En un estudio llevado a cabo con jugadores italianos de alto nivel durante la temporada 2001-2002 analizando las concentraciones de lactato al finalizar los partidos de liga de la "Serie A", con un volumen total de 52 mediciones, Roi *et al.* (2004) determinaron una concentración media de lactato de 6,3 mmol/l.

El amplio rango de valores que se pueden encontrar a la conclusión de los partidos sugiere que el registro de la acumulación de lactato mediante una única medida al finalizar el juego no sea un reflejo objetivo de la actividad realizada durante el juego, porque la medida de lactato en el descanso o al finalizar el partido puede subestimar la participación del metabolismo anaeróbico (Smith *et al.*, 1993). Debido

a ello se han planteado estudios (Chamoux *et al.*, 1988) en los que se han realizado tomas de lactato durante el juego en partidos amistosos en los que se permitía la sustitución temporal de los futbolistas para llevar a cabo la extracción de sangre.

El origen de la anterior variabilidad en los resultados se debe a la estrecha relación existente entre los valores de lactato medidos y la actividad realizada antes del muestreo (Bangsbo *et al.*, 1991). Estos autores encontraron una relación positiva significativa ($r=0,67$) entre la acumulación de lactato y la cantidad de ejercicio realizado a una alta intensidad (carrera rápida y sprint) en los 5 min previos a la extracción de sangre. Otros trabajos posteriores han corroborado la misma afirmación con árbitros daneses. Krstrup & Bangsbo (2001) encontraron una relación positiva significativa ($r=0,54$) entre la concentración de lactato y la FC_{med} de los 5 min anteriores a la extracción de la sangre.

La concentración de lactato medida sobre muestras de sangre de la yema del dedo para árbitros daneses analizados durante partidos de competición tuvo unos resultados medios en torno a los 5 mmol/l (Krstrup & Bangsbo, 2001; Bangsbo *et al.*, 2004b). Resulta necesario reseñar que dicho valor promedio no debe obviar el amplio rango de acumulaciones encontradas entre los árbitros (de 2 a 14 mmol/l). En el caso de árbitros italianos D'Ottavio & Castagna (2001d) determinaron valores de lactato en el lóbulo de la oreja superiores durante el juego que durante el calentamiento, siendo los valores registrados durante partidos amistosos de 2,1, 3,5, 7,3 y 3,4 mmol/l en los minutos 0, 15, 30 y 45 del primer tiempo de los partidos, respectivamente.

La acumulación de lactato en la yema del dedo de los árbitros asistentes mostró unos valores similares a los anteriores con un promedio de 4,7 (Krstrup *et al.*,

2004a) y de 4,8 mmol/l (Krustrup *et al.*, 2002). De nuevo se observa una gran amplitud en el rango de valores encontrados al final de cada período de juego que van desde 1,1 a 13,7 mmol/l.

Esta heterogeneidad en los resultados también es manifiesta en los estudios realizados con futbolistas (Ekblom, 1986; Pirnay *et al.*, 1993; Krustrup *et al.*, 2004b) que han analizado los valores medidos al finalizar cada período de juego y durante el juego (en partidos amistosos o de entrenamiento). La realización de acciones técnicas con el balón, como la conducción rápida del mismo, puede incidir en un incremento de la tasa de lactato en los futbolistas (Reilly, 1990).

En la mayoría de los estudios realizados con poblaciones de futbolistas, corroborando las conclusiones de Pirnay *et al.* (1993), los valores de lactato registrados al finalizar el primer tiempo son superiores a los alcanzados al finalizar el segundo. Este aspecto puede estar estrechamente relacionado con el hecho de que al haber una disminución de la frecuencia y duración de las fases de ejercicio a una alta intensidad durante el segundo tiempo (Bangsbo, 1994d,e), los valores de lactato y frecuencia cardiaca registrados son menores que durante el primer tiempo.

La acumulación de lactato en sangre parece tratarse de un parámetro poco estable, puesto que se ha determinado, al analizar a un mismo árbitro en sucesivos partidos una variación intra-individual en la concentración de lactato de 2,7 mmol/l (0,2-6,0) con un coeficiente de variación de los datos del 31% (Krustrup & Bangsbo, 2001).

El hecho de que la concentración de lactato esté estrechamente relacionada con la mayor cantidad de ejercicio de alta intensidad desarrollado puede explicar que los futbolistas que compitan a un mayor nivel tengan concentraciones de lactato

superiores (Ekblom, 1986) aunque más recientemente Krusturp & Bangsbo (2001) no hayan encontrado diferencias en la acumulación de lactato entre árbitros de la superliga y la primera división danesa.

La edad no parece ser un factor que incida en la acumulación de lactato ya que no se han encontrado diferencias al comparar a árbitros (Bangsbo *et al.*, 2004b) y árbitros asistentes (Krusturp *et al.*, 2004a) de distintos grupos de edades.

En relación al puesto específico ocupado por los futbolistas no existe ningún estudio que haya encontrado diferencias significativas, con excepción del portero, entre las distintas demarcaciones en cuanto a la acumulación de lactato. En cualquier caso el sistema de juego adoptado por el equipo sí parece tener una importante influencia en la acumulación de lactato, en especial en cuanto a la organización defensiva del equipo. Al comparar la acumulación de lactato entre un equipo que defendía zonalmente y otro que defendía con marcaje al hombre –cada jugador persigue al contrario por todo el campo-, Gerisch *et al.* (1988) comprobaron como los futbolistas que marcaban zonalmente tenían concentraciones inferiores de lactato lo que repercutía positivamente en su rendimiento ya que propiciaba un retardo en la aparición de la fatiga.

Los propios Gerisch *et al.* (1988) encontraron también que los entrenadores tendían a sustituir durante el segundo tiempo a aquellos futbolistas que presentaban valores más altos o más bajos de acumulación de lactato en relación a la media. Además de la sensación subjetiva de pesadez en las piernas que podrían tener estos jugadores, la acumulación excesiva de lactato incide en el desarrollo de una situación deficitaria en las funciones técnicas y tácticas de los futbolistas de alto nivel (Liesen, 1983, en Gerisch *et al.*, 1988).

Por todo lo anteriormente expuesto en relación a la acumulación de lactato durante la práctica del fútbol, se puede elaborar un cronograma sobre como se desarrolla la misma. Durante el calentamiento la acumulación de lactato es discreta, dependiendo los valores de la intensidad del mismo. Carli *et al.* (1986) al comparar entre sí dos equipos verificaron que el equipo que realizaba un calentamiento más largo (30 frente a 10 min) e intenso, sus jugadores empezaban el partido con una mayor acumulación de lactato. Una vez iniciado el partido los valores encontrados son moderados estando en relación con la cantidad de ejercicio realizado a una alta intensidad en los 5 min previos a la extracción de sangre (Bangsbo *et al.*, 1991; Reilly, 1996a) aunque se han encontrado picos de hasta 12 (Ekblom, 1986) e incluso 15 mmol/l (Agnevik, 1970, en Bangsbo, 1994b).

Durante el tiempo de descanso reglamentario entre los dos períodos hay una recuperación orgánica parcial tras el esfuerzo realizado observándose una disminución de los valores de lactato hasta los 4,4 (Castellano *et al.*, 1996) o 2,2 mmol/l (Pirnay *et al.*, 1993) a los 10 min de la conclusión de la primera parte.

En la reanudación del juego se observa de nuevo una gran variabilidad en los valores de lactato aunque, de modo general, las concentraciones son inferiores a las del primer tiempo por la menor cantidad de ejercicio a intensidad alta desarrollado (Bangsbo, 1994a).

En relación a la obtención de energía por la vía metabólica anaeróbico aláctica la concentración de amoniaco (NH_3) en sangre se eleva en los partidos indicando una producción de NH_3 por el músculo. La elevación de la concentración de este metabolito en sangre manifiesta la activación del ciclo de las purinas puesto que

existe una activación de la adenilato quinasa y de la adenosin monofosfato deaminasa (Lowenstein, 1990, en Bangsbo, 1994a).

Estudios realizados con seis futbolistas daneses durante partidos competitivos que se interrumpían durante 1 min para tomar muestras sanguíneas venosas de amonio/amoniaco (Bangsbo, 1994a) han permitido constatar como la concentración de NH_3 en los segundos tiempos era inferior a la de los primeros (Figura 1.12), al mismo tiempo que también se ve reducida la intensidad global del esfuerzo (Bangsbo, 1994c).

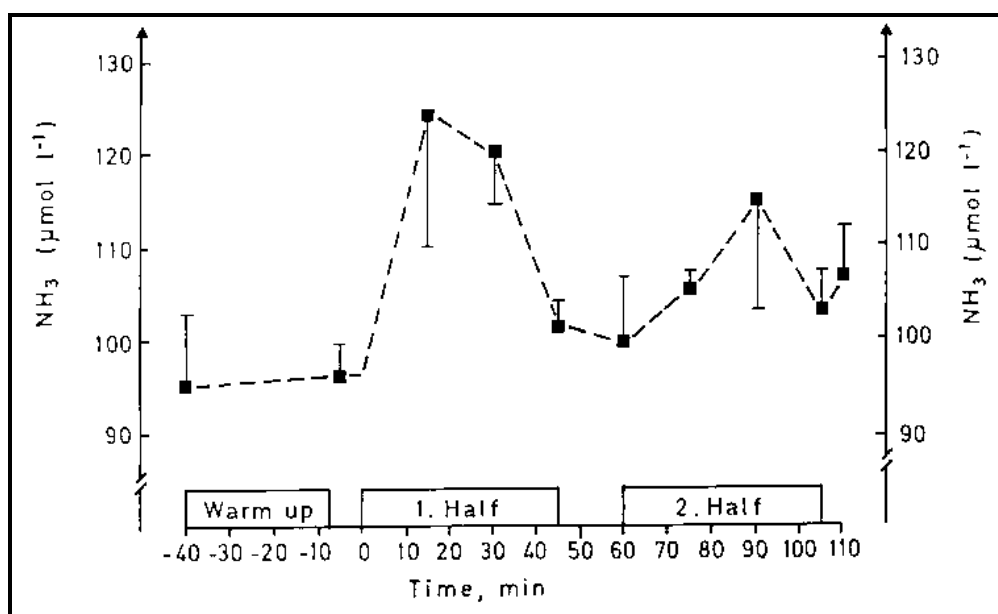


Figura 1.12 Concentración venosa de amonio/amoniaco (NH_3) en seis futbolistas antes, durante y después de un partido de competición. (Figura tomada de Bangsbo, 1994a).

Aunque podrían existir diversos motivos para explicar el aumento de la concentración de NH_3 durante la práctica del fútbol, la desaminación del AMP

parece ser la causa principal de dicho incremento. Bangsbo (1994a) llega a tal conclusión al haber determinado una elevada concentración de hipoxantina (Figura 1.13), producto de la degradación de la inosina monofosfato, durante el juego real.

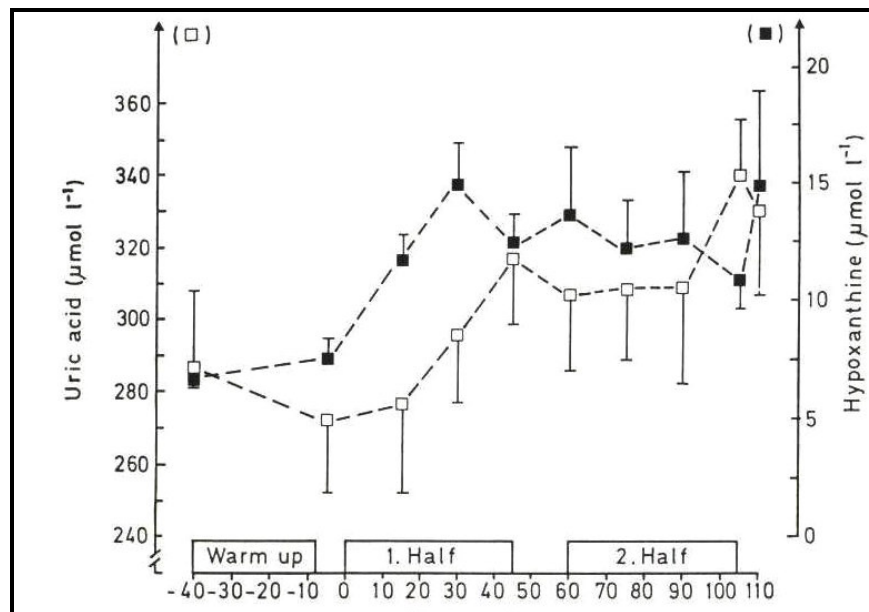


Figura 1.13 Concentración venosa de ácido úrico (cuadrados blancos) y de hipoxantina (cuadrados negros) obtenida en seis futbolistas antes, durante y después de un partido de competición. (Figura tomada de Bangsbo, 1994a).

Al mismo tiempo se ha podido observar (Bangsbo, 1994a) un incremento en la concentración de ácido úrico en la sangre en relación a los valores de reposo lo que sugiere que una proporción de la hipoxantina producida durante el ejercicio intenso se oxidaba a ácido úrico, con un ligero retardo temporal.

1.2.3 Valoración de la condición física de los árbitros y de los árbitros asistentes

Una vez descrita la respuesta del deportista durante la competición en el fútbol, definida a través de la actividad realizada por los árbitros y los árbitros asistentes y por la repercusión fisiológica de la misma, para completar el modelo de análisis del fútbol resulta conveniente hacer referencia al perfil fisiológico de los jueces puesto que éste debería ser un reflejo de la adaptación de los deportistas al juego (Bangsbo, 1994a).

Aunque son diversos los estudios existentes en la bibliografía internacional sobre el tema, las diferentes baterías de pruebas empleadas durante las investigaciones induce a seleccionar para el análisis únicamente aquellos trabajos que hacen referencia a la valoración de alguna de las cualidades físicas que se relacionan directamente con el rendimiento en el fútbol.

La valoración de la condición física del árbitro de fútbol se ha realizado tradicionalmente a través de una gran variedad de métodos, muchos de ellos inespecíficos, lo que dificulta la comparación entre los estudios. Al tener el rendimiento final en el fútbol un carácter multifactorial no se puede acotar ni predecir el mismo a partir de la valoración de alguna capacidad física de manera aislada, por lo que las mismas deben tomarse en relación con la prestación competitiva tratando de analizar su verdadera significación e influencia en el rendimiento deportivo.

El concepto de condición física es un término amplio que incluye “la suma ponderada de todas las capacidades físicas para el rendimiento y su realización a

través de las características personales del deportista” (Navarro, 1997). Las cualidades o capacidades físicas se han clasificado de distintas maneras aunque según Bompa (1983), todas ellas actúan de una manera interdependiente para alcanzar el rendimiento deportivo.

Los niveles fisiológicos de condición física requeridos para el juego del fútbol dependen de las demandas de cada partido que varían con el nivel de la competición (Reilly, 1990). Es por ello que a lo largo del presente apartado, tras realizar una breve descripción de las características antropométricas de los jueces, se hará inciso únicamente en los estudios que han abordado la valoración de capacidades físicas como la resistencia y la velocidad, dejando de lado otras capacidades que no tienen una relación tan directa con la prestación competitiva de los árbitros y árbitros asistentes en el deporte del fútbol o de cuya valoración no existen referencias en esta población de deportistas.

1.2.3.1 Características antropométricas

Las características antropométricas no suelen considerarse como un factor que impida el rendimiento en el fútbol y, tras la revisión realizada sobre este tema, se exponen a modo de referencia para describir la muestra de los deportistas cuya condición física ha sido valorada en los distintos estudios.

De modo general los árbitros alcanzan su máximo rendimiento en una edad más tardía a la de los futbolistas en la alta competición. Durante el campeonato de Europa de selecciones del año 2000, la edad media de los árbitros y árbitros asistentes (Helsen & Bultynck, 2004) superaba los 40 años. Este es un dato que

excede notoriamente de los 26,5 años de media de los futbolistas que participan en las grandes ligas europeas (Bloomfield *et al.*, 2004).

Aunque puede existir una gran variabilidad en la estatura y peso de los jueces, existe la tendencia a que los árbitros sean más altos que los árbitros asistentes (Helsen & Bultynck, 2004). La Tabla 1.10 resume los valores antropométricos de los colegiados que han participado en los distintos estudios publicados en la literatura internacional en la cual se puede comprobar como la estatura media de los árbitros suele superar los 180 cm y el peso sobrepasa los 80 kg.

Tabla 1.10 Características antropométricas de los árbitros y los árbitros asistentes estudiados en la bibliografía internacional.

Autor	Muestra (n)	Edad (años)	Estatura (cm)	Peso (kg)	% Grasa
Rontoyannis <i>et al.</i> (1998)	1ª-4ª Div.; Grecia (188)	36,3	177,4	81,6	16,7
Krustrup & Bangsbo (2001)	Dinamarca (27)	38	182	83,0	
Harley <i>et al.</i> (2001a)	Regional; Inglaterra (16)	36,6		84,9	
Harley <i>et al.</i> (2001b)	Regional; Inglaterra (14)	37,5		82,1	
D'Ottavio & Castagna (2001a)	1ª Div.; Italia (18)	37,5			
D'Ottavio & Castagna (2001b)	1ª Div.; Italia (33)	37,8			
Castagna & D'Ottavio (2001)	1ª Div.; Italia (8)	37,6	182,9	77,6	
Castagna <i>et al.</i> (2002a)	1ª Div.; Italia (22)	37	182	76,8	
Krustrup <i>et al.</i> (2002)	Dinamarca (15)*	40	181	80,5	
Castagna & Abt (2003)	1ª Div.; Italia (14)	37	180,2	77,9	

Autor	Muestra (n)	Edad (años)	Estatura (cm)	Peso (kg)	% Grasa
Bangsbo <i>et al.</i> (2004b)	1ª Div.; Dinamarca (42)	37,6	183,6	87,8	
Krustrup <i>et al.</i> (2004a)	1ª Div.; Dinamarca (21)	39,7	181,4	80,5	
Helsen & Bultynck (2004)	UEFA (17)	40,2	182	79,7	
Helsen & Bultynck (2004)	UEFA (17)*	41,3	177	75,3	

*Nota: * Árbitros asistentes.*

La configuración inespecífica del rendimiento en el deporte del fútbol hace que no exista un biotipo predeterminado que asegure el rendimiento en la especialidad pudiéndose observar una mayor variabilidad en las medidas antropométricas de los futbolistas que en los árbitros. En ocasiones una tipología desfavorable para el fútbol puede ser compensada por el dominio de otras habilidades y facetas del juego. Los futbolistas pueden llegar a tener éxito si con su calidad y motivación compensan lo que podría parecer un biotipo no adecuado. Igualmente el entrenador puede modificar sus tácticas para adaptarlas a las características específicas de algún jugador del equipo (Shephard, 1999).

Estos factores inciden en que, a la hora de analizar los resultados presentados en los distintos estudios, se muestre siempre un amplio rango en los mismos que puede ser debido a que las solicitudes exigidas en el fútbol sean distintas en función de la posición ocupada en el campo (Douge, 1988).

Tomando en consideración los estudios recopilados en la presente revisión bibliográfica la talla media de los futbolistas se sitúa en torno a los 180 cm y el peso

medio se hallaba cercano a los 75 kg (Vanfraechem & Tomas, 1988; Matkovic *et al.*, 1993; Wisloff *et al.*, 1998; Casajús, 2001). En cuanto al porcentaje de grasa, existe también una discrepancia en los datos presentados debido a que se han utilizado diferentes métodos y fórmulas para su cálculo (Gorostiaga, 1993). Los futbolistas de élite suelen tener un porcentaje de grasa en torno al 10% durante la temporada (Mangine *et al.*, 1990; Coen *et al.*, 1998, ambos en Shephard, 1999), aunque puede aumentar hasta el 19-20% en el período entre temporadas (Reilly, 1994b).

Existe una cierta tendencia a que cada vez los futbolistas de mayor nivel sean más altos. Así Mohácsi *et al.* (1991) (en Shephard, 1999) encontraron que los jugadores de la selección nacional húngara eran más altos que los de la primera y segunda división. En un estudio reciente en el que se compararon la estatura y el peso de 2.085 jugadores profesionales pertenecientes a la máxima categoría de las ligas española, italiana, inglesa y alemana Bloomfield *et al.* (2004) encontraron que en esta última liga los jugadores eran más altos y pesaban más que los de las demás ligas.

El puesto específico que ocupa el futbolista dentro de la configuración táctica del equipo también es un factor importante a la hora de analizar las características antropométricas de los jugadores. La mayor diferencia entre las demarcaciones concierne a los porteros, que suelen ser los de mayor edad (Bloomfield *et al.*, 2004), los más altos (Reilly, 1994b), los que más pesan y los que mayor porcentaje de grasa corporal tienen (Davis *et al.*, 1992; Matkovic *et al.*, 2003).

En cuanto a los jugadores de campo los defensas centrales suelen ser los más altos (Reilly, 1994b; Bangsbo, 1994a y 1998a) y los que más pesan (Davis *et al.*, 1992; Bangsbo, 1994a). En relación al resto de puestos específicos –defensas

laterales, centrocampistas y delanteros- no se han encontrado diferencias significativas al comparar las distintas demarcaciones entre sí, aunque sea necesario volver a incidir en la gran variabilidad que se pueden encontrar en los resultados dentro de cada uno de los puestos específicos analizados. Es por ello que ni Bangsbo *et al.* (2004a) encontraron diferencias en cuanto a edad, estatura y peso al comparar a 47 jugadores de la primera división danesa que ocupan tres puestos específicos distintos ni Bloomfield *et al.* (2004) al analizar a un total de 2.085 jugadores de las cuatro grandes ligas europeas, observaron ningún efecto por la demarcación ocupada por los futbolistas de campo.

1.2.3.2 Valoración de la resistencia aeróbica

La resistencia es una cualidad física fundamental durante la ejecución de ejercicios físicos y por ella se suele entender “la capacidad de resistir psíquica y físicamente a una carga durante largo tiempo produciéndose finalmente un cansancio insuperable debido a la intensidad y la duración de la misma y/o de recuperarse rápidamente después de esfuerzos físicos y psíquicos” (Zintl, 1991).

Existen numerosas clasificaciones de la resistencia aunque una de la más empleadas se basa en la forma de obtener la energía para la contracción muscular. Por el tipo de esfuerzo que realizan los árbitros y árbitros asistentes durante la competición en el fútbol esta caracterización fisiológica de los esfuerzos realizados puede ser particularmente útil. En función de la posibilidad o no de utilizar oxígeno para la obtención de energía se habla de resistencia aeróbica y de resistencia anaeróbica, respectivamente. En el caso de la resistencia aeróbica las reservas

corporales de hidratos de carbono, grasas y proteínas pueden ser utilizadas como sustratos para realizar el aporte energético durante el ejercicio.

Debido a las características del rendimiento físico la evaluación de la resistencia aeróbica ha sido uno de los objetivos principales de todas las baterías de pruebas físicas efectuadas tanto a los jueces como a los futbolistas.

Resulta necesario respetar, dentro de la amplitud que supone el término resistencia aeróbica, dos componentes conceptualmente distintos la potencia y la capacidad aeróbica que serán abordados con mayor profundidad en las páginas sucesivas.

Potencia aeróbica

El término potencia aeróbica representa la cantidad máxima de energía que se puede generar por unidad de tiempo utilizando prioritariamente la vía aeróbica para la obtención de la energía. La manera tradicional de expresar la potencia aeróbica máxima es a través del parámetro consumo máximo de oxígeno. Esta variable depende de la cantidad de oxígeno que llega a los tejidos y de su capacidad para utilizarlo, es decir, está relacionada con el oxígeno que se difunde al interior de la matriz de la mitocondria y del potencial oxidativo de la misma (López Calbet & Gorostiaga, 2002). Por lo tanto representa la habilidad del cuerpo para transportar el oxígeno desde el aire ambiental a los músculos que trabajan (Shephard, 1992a).

El análisis de los elementos del sistema de aporte de oxígeno que podrían limitar la capacidad de resistencia de un deportista han revelado recientemente diferencias entre los sujetos entrenados y no entrenados. Mientras que en los sujetos no

entrenados las mayores limitaciones vienen dadas por la capacidad de los músculos para utilizar el oxígeno disponible, en los sujetos entrenados las principales limitaciones corresponden a la capacidad del corazón para bombear la sangre (Richardson, 2000). Es por ello que se considera al volumen sistólico como el principal responsable de estas limitaciones ya que puede ser el doble de grande en atletas entrenados que en sujetos sedentarios (Hoff, 2005).

Existen diversos procedimientos para medir el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ de un deportista. La determinación directa de este parámetro se realiza utilizando equipos de análisis de gases. Estos aparatos registran la concentración del oxígeno inspirado y espirado en cada ciclo respiratorio así como el flujo total de aire (ventilación). Para realizar la prueba el sujeto se coloca una máscara por la que respira y mediante un sistema informático se calculan las variables ventilatorias.

Existen diferentes tipos de pruebas empleadas en la valoración de la potencia aeróbica siendo recomendable que el ejercicio motriz realizado tenga la máxima similitud con la acción realizada durante la competición. Por este motivo durante los últimos años se han desarrollado ergómetros cada vez más específicos al gesto técnico predominante en las distintas especialidades deportivas (remo, natación, ciclismo, etc.). Aunque para el deporte del fútbol el ergómetro que más se asemeja a la técnica empleada en los desplazamientos realizados es la cinta de correr o tapiz rodante, son frecuentes los estudios que han analizado la potencia aeróbica de los futbolistas sobre un ejercicio realizado en un cicloergómetro (Williams *et al.*, 1973; Ramadan & Byrd, 1987; Brikci *et al.*, 1995).

Durante la ejecución de una prueba de valoración de la resistencia aeróbica en un laboratorio de fisiología del ejercicio, habitualmente denominada prueba de

esfuerzo, el deportista realiza el ejercicio físico ante resistencias progresivamente crecientes. Según el tipo de ergómetro empleado la carga se puede determinar por la velocidad de carrera, la pendiente del tapiz, la resistencia de la máquina o la cadencia del pedaleo. El procedimiento habitual consiste en medir el consumo de oxígeno durante la realización del ejercicio hasta que el sujeto llega al agotamiento, para lo cual se emplean protocolos de intensidad progresiva, teniendo cada uno una influencia sobre los resultados obtenidos (Kemi *et al.*, 2003) ya que por ejemplo, una prueba realizada sobre un tapiz con pendiente involucra una mayor masa muscular y una cadencia inferior lo que permite al deportista alcanzar el verdadero $VO_{2m\acute{a}x}$, en comparación con una prueba en tapiz vertical (Astrand & Rodahl, 1986).

Para poder llevar a cabo este tipo de valoraciones resulta imprescindible que la prueba exija una sollicitación aeróbica máxima en el deportista. Los criterios de maximalidad habitualmente empleados implican (Shephard, 1992a; Calderón 2000) que el consumo de oxígeno alcance una meseta ("plateau"), es decir, un incremento del consumo de oxígeno menor de 2 ml/kg/min a pesar de aumentarse la intensidad del ejercicio; obtener la $FC_{m\acute{a}x}$ teórica del sujeto; llegar al tope en el ratio de intercambio gaseoso (ratio de CO_2 eliminado: O_2 consumido por encima de 1,10) y conseguir el pico de lactato máximo. El deportista debe afrontar la prueba en una situación de reposo (al menos 24 h sin esfuerzos de elevada intensidad), sin haber realizado una elevada ingesta calórica en las horas previas y con unas condiciones ambientales en la sala de unos 22°C (Shephard, 1992a). Este tipo de consejos se adoptan para lograr que el deportista alcance su máximo rendimiento durante la prueba y facilitar la comparación de los resultados entre distintos estudios.

Para la valoración de la potencia aeróbica en árbitros de fútbol se han descrito distintos protocolos. Así Krstrup & Bangsbo (2001) emplearon una prueba en la que los árbitros realizaban cuatro series de carrera de 6 min de duración a velocidades de 10, 12, 14 y 16 km/h, con 2 min de recuperación entre los estadios. Posteriormente realizaban una prueba máxima incremental en la que empezaban a correr a 14 km/h durante 2 min, pasando a 16 km/h durante 30 s y desde ahí se aumentaba la velocidad 1 km/h cada 30 s hasta el agotamiento, registrándose el tiempo que el sujeto aguantaba el esfuerzo. La primera parte de este procedimiento permitía conocer la capacidad aeróbica del deportista mientras que la segunda parte estaría orientada a determinar los niveles de potencia aeróbica. Este mismo protocolo fue utilizado por Krstrup *et al.* (2002) con una muestra de árbitros asistentes daneses aunque suprimiendo la última serie de carrera a 16 km/h.

Weston & Brewer (2002) emplearon un protocolo muy similar con árbitros ingleses. En primer lugar realizaban cinco estadios incrementales submáximos empezando en 10,46 km/h y acabando en 14,32 km/h, para posteriormente incrementar la pendiente del tapiz un 2% cada minuto hasta el agotamiento del deportista momento en el cual se calculaba el $VO_{2máx}$ del sujeto.

Los valores absolutos de $VO_{2máx}$ (litros de oxígeno consumidos por minuto) publicados en la bibliografía oscilan entre los 4,0 (Krstrup & Bangsbo, 2001) y 4,21 l/min (Bangsbo *et al.*, 2004b) de los árbitros y los 3,71 l/min de los árbitros asistentes (Krstrup *et al.*, 2002),

En cualquier caso lo más habitual es la expresión de dicho valor de forma relativa al peso corporal de los sujetos (mililitros de oxígeno consumidos por kilogramos de masa por minuto) con valores descritos para los árbitros de 46,3 (Krstrup &

Bangsbo, 2001), 46,7 (Bangsbo *et al.*, 2004b) y 50,9 ml/kg/min (Weston & Brewer, 2002) y para los árbitros asistentes de 45,9 (Krustrup *et al.*, 2002) y 46,5 ml/kg/min (Krustrup *et al.*, 2004a). Esta forma de expresar los valores implica una linealidad entre el consumo de oxígeno y la masa muscular del deportista mostrando una sobreestimación de la capacidad de trabajo en los sujetos más ligeros y una subestimación en las personas con mayor masa (Hoff, 2005). Para comparar sujetos con distintas masas corporales Helgerud *et al.* (2001) sugieren expresar el parámetro elevando el peso a una potencia de 0,75 (ml/kg^{0,75}/min) para obtener así un valor independiente a la masa del deportista.

El desarrollo de equipos portátiles de gases ha permitido la realización de pruebas de valoración de la potencia aeróbica en situaciones de campo. Castagna & D'Ottavio (2001) analizaron a ocho árbitros con un protocolo progresivo incremental (modificación del "Montreal Track Test") en una pista de atletismo utilizando un analizador de gases Cosmed K2 que registraba los gases espirados en intervalos de 15 s. Partiendo de una velocidad de carrera de 8 km/h se aumentaba la velocidad en 2 km/h cada 2 min hasta que el sujeto no podía mantener el ritmo de carrera impuesto. El VO_{2máx} absoluto logrado por los árbitros italianos estudiados fue de 3,75 l/min, lo que representaba un valor relativo de 49,3 ml/kg/min y un registro independiente de la masa muscular de 143,9 ml/kg^{0,75}/min.

La determinación del VO_{2máx} ha sido muy frecuente en las baterías de valoración de la condición física de los futbolistas. Es por esto por lo que existen bastantes datos de referencia en la bibliografía internacional aunque, de nuevo, resulte complicado la comparación entre los resultados obtenidos en los distintos estudios por los diferentes tipos de ergómetros y protocolos empleados en las pruebas. Dentro de la amplia variabilidad de resultados que se han presentado en la bibliografía

internacional (Raven *et al.*, 1976; Ekblom, 1986; Bangsbo & Lindquist, 1992; Roi *et al.*, 1993; Bangsbo, 1994a; Casajús, 2001; Bangsbo, 2004a), Reilly (1994b) los circunscribe al rango que va de los 56 a los 69 ml/kg/min.

El efecto que puede tener el disponer de un elevado $VO_{2m\acute{a}x}$ sobre el rendimiento de un equipo de fútbol muestra resultados contradictorios. Apor (1988) encontró una relación lineal entre los valores medios de $VO_{2m\acute{a}x}$ y el puesto ocupado en la liga húngara por cuatro equipos que finalizaron la competición entre los cinco primeros. Wisloff *et al.* (1998) determinaron que un equipo de alto nivel noruego –Rosemborg– tenía valores más elevados que un equipo que ocupó una de las últimas posiciones en la misma liga (67,6 vs. 59,9 ml/kg/min). Según estos autores una diferencia de 6 ml/kg/min en el $VO_{2m\acute{a}x}$ podría suponer, en términos de distancia recorrida durante un partido, el contar con un jugador adicional. Apoyándose en el supuesto beneficio que supone para el deportista contar con un elevado nivel de $VO_{2m\acute{a}x}$. Vanfraechem & Tomas (1988) sugieren que los futbolistas profesionales deben tener un $VO_{2m\acute{a}x}$ mínimo de 65 ml/kg/min mientras que Dufour (1990) eleva las exigencias del futbolista moderno a 70 ml/kg/min.

Por el contrario Roi *et al.* (1993), al analizar el $VO_{2m\acute{a}x}$ de un mismo club a lo largo de diferentes temporadas, concluyeron que era imposible relacionar el $VO_{2m\acute{a}x}$ con el rendimiento del equipo (a nivel del puesto final ocupado en la clasificación). Bangsbo (1994a) tampoco encontró diferencias entre los jugadores titulares y reservas de un mismo equipo lo que indicaría que esta variable no sería tan importante y que quizás haya otras más determinantes en el rendimiento final en el juego.

El puesto específico ocupado por los futbolistas dentro del sistema de juego del equipo parece tener una influencia importante sobre los valores de $VO_{2m\acute{a}x}$ obtenidos siendo los centrocampistas los que habitualmente presentan unos valores superiores (Bangsbo *et al.*, 2004a) mientras que los defensas centrales y porteros tienen los registros más discretos (Bangsbo & Michalsik, 2001). En cualquier caso en ocasiones resulta difícil clasificar a determinados jugadores polivalentes, es decir, aquellos que pueden actuar en más de una demarcación.

No siempre se puede disponer de un equipo analizador de gases o de un laboratorio de fisiología del ejercicio para realizar las pruebas de esfuerzo por lo que se han desarrollado diversos métodos para estimar o predecir el $VO_{2m\acute{a}x}$ en función del resultado obtenido en distintas pruebas de campo. Estos procedimientos se basan en la aplicación de ecuaciones de regresión fundamentadas en estudios previos llevados a cabo con muestras mayores, relacionando el $VO_{2m\acute{a}x}$ obtenido en una prueba realizada de laboratorio y el resultado de la prueba de campo.

Uno de los tests tradicionales realizados con este fin es la prueba de carrera de los 12 min o test de Cooper (Cooper, 1968, en Shephard, 1992a) que desde 1989 forma parte de las pruebas de valoración de la condición física de los árbitros de la FIFA. En este test, realizado sobre una pista de atletismo, los deportistas deben recorrer la máxima distancia posible durante 12 min.

En el estudio original publicado en 1968 (en Grant *et al.*, 1995) Cooper encontró una correlación de 0,90 entre la distancia recorrida durante una carrera de 12 min y el $VO_{2m\acute{a}x}$ determinado en laboratorio utilizando una muestra de 115 militares del ejército del aire de Estados Unidos. La alta relación encontrada en este estudio inicial se debió probablemente a la heterogeneidad de la muestra evaluada, de

manera que cuando se ha repetido el estudio con muestras más homogéneas de sujetos (McArdle *et al.*, 1986) la correlación disminuía hasta 0,59. Grant *et al.* (1995) encontraron una ligera subestimación sistemática de unos 4 ml/kg/min a la hora de calcular el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ en deportistas a partir de las ecuaciones de regresión según la distancia recorrida en la prueba de los 12 min. En opinión de Astrand & Rodahl (1986) la técnica de carrera de los deportistas puede provocar que los sujetos no alcancen su $\text{VO}_{2\text{máx}}$ durante una prueba en pista, lo que supondría una restricción en su aplicación. Las diferencias en la economía de carrera, unidas al componente anaeróbico y a los niveles de umbral anaeróbico de los deportistas, hace que en esta prueba no sea posible obtener errores en la estimación del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ inferiores al 5-7% (Hoff, 2005).

Debido a que este test forma parte de la batería de pruebas físicas empleadas por la FIFA existen varias referencias sobre la distancia recorrida por árbitros y árbitros asistentes al realizar los 12 min de carrera (Tabla 1.11).

Tabla 1.11 Marca obtenida por los árbitros y los árbitros asistentes en la prueba de los 12 min.

Autor	Muestra de Árbitros (n)	Distancia (m)
Rontoyannis <i>et al.</i> (1998)	1ª División; Grecia (15)	2779
	2ª División; Grecia (37)	2793
	3ª División; Grecia (76)	2710
	4ª División; Grecia (60)	2671
	Grecia, Media (188)	2719
Krustrup & Bangsbo (2001)	Dinamarca (27)	2905
Castagna <i>et al.</i> (2002a)	Italia (22)	2866
Krustrup <i>et al.</i> (2002)	Dinamarca (15) *	2889
Bangsbo <i>et al.</i> (2004b)	Dinamarca (42)	2880
Krustrup <i>et al.</i> (2004a)	Dinamarca (21) *	2909

Nota: * Árbitros asistentes.

Existen también datos referentes a la aplicación de esta prueba en futbolistas como modo para estimar el $VO_{2m\acute{a}x}$ (Raven *et al.*, 1976; Apor, 1988; Gerisch *et al.*, 1988; Bosco, 1991; Tiriyaki *et al.*, 1997) en los que se puede apreciar una gran variabilidad en la marca en la prueba con valores que van de los 2600 a los 4075 m.

Se han descrito numerosas pruebas en campo para valorar la potencia aeróbica de los deportistas. Una de las más empleadas es el test de la Universidad de Montreal (Léger & Boucher, 1980) que consiste en correr, sobre una pista de atletismo o campo de fútbol, a velocidad prefijadas crecientes marcadas por señales auditivas (Gorostiaga, 2001) hasta lograr la velocidad aeróbica máxima de carrera.

Una variante de esta prueba es la prueba “Vameval” (Cazorla, 1990, en Masaach, 2004) en la que los incrementos de velocidad son de 0,5 km/h cada minuto permitiendo una mejor adaptación del deportista al esfuerzo. Este test facilita la estimación de la velocidad aeróbica máxima y el consumo máximo de oxígeno de los sujetos.

Partiendo de la prueba de Léger & Boucher (1980), Léger & Lambert (1982) plantearon un nuevo protocolo en el que en vez de realizar la carrera de forma continua alrededor de una pista de atletismo. Los deportistas se desplazaban en un pasillo de 20 m de longitud en forma de ida y vuelta a velocidades progresivamente crecientes marcadas por señales auditivas hasta llegar al agotamiento. Este test se conoce también como la prueba de Course-Navette o como el “Multistage Shuttle Test” (Léger *et al.*, 1988). Esta prueba ha sido aplicada en numerosos estudios para estimar el $VO_{2m\acute{a}x}$ relativo de futbolistas (Brewer, 1990; Davis *et al.*, 1992; Balsom, 1994; Smith *et al.*, 1994; Mercer *et al.*, 1997; Yagüe & Yagüe, 1997; Ardá, 1997;

Dumbar & Power, 1997; Dowson *et al.*, 2001; Strudwick *et al.*, 2002; Brick & O'Donoghue, 2004; Aziz *et al.*, 2004).

De modo complementario se puede hacer referencia a otras pruebas empleadas en la literatura internacional para estimar el $VO_{2\text{máx}}$ de los futbolistas como el "Interval Shuttle Run Test" (Lemmink *et al.*, 2004) o el "45/15" de Gaçon (Assadi, 2002, en Masaach, 2004). Además de estas pruebas empleadas en el ámbito del fútbol existen muchos tests empleados en otros deportes para determinar la potencia aeróbica de los sujetos, como sería el recorrer una determinada distancia en el menor tiempo posible o lo contrario, recorrer en un tiempo fijado el mayor número de metros. Debido a la inespecificidad de estas pruebas en relación al rendimiento de los árbitros y árbitros asistentes en la competición, no han sido objeto de publicaciones en la literatura internacional.

Capacidad aeróbica

La capacidad aeróbica representa la posibilidad de mantener el rendimiento durante un período prolongado de tiempo utilizando de manera prioritaria la vía aeróbica para la obtención de energía. Según esta definición, el parámetro que caracteriza a esta cualidad es el umbral anaeróbico, que representa la carga de trabajo o intensidad del esfuerzo por encima de la cual la acumulación de lactato en sangre aumenta de una forma desproporcionada.

En el ámbito del entrenamiento el creciente interés por el estudio de este parámetro ha venido dado por la proliferación de estudios en los deportes de resistencia en los que se obtenía una mayor correlación entre el lactato y el rendimiento final en la

prueba que con el $VO_{2\text{máx}}$ (Jacobs, 1986). Debido a que el $VO_{2\text{máx}}$ es un parámetro que se ve limitado por factores centrales la respuesta del lactato al ejercicio parece tratarse de una medida más sensible de la adaptación del deportista al ejercicio ya que esta respuesta se ve limitada por factores periféricos (Weltman, 1995). Los niveles de lactato deben ser la guía prioritaria para prescribir la intensidad del entrenamiento de resistencia (Jacobs, 1986; Stegmann & Kindermann, 1982, en Shephard, 1992b).

Los trabajos iniciales sobre la respuesta del lactato al ejercicio fueron realizados por Hill (1924) (en López Chicharro & Legido, 1991), Jervell (1929) y Owles (1930) (ambos en Jacobs, 1986) aunque la mayor profundidad en la investigación sobre este parámetro se logró en Alemania del Este, donde se empleaba para predecir el rendimiento en las pruebas de resistencia. Las investigaciones de Hollmann y colaboradores en los años sesenta (en Weltman, 1995) les llevaron a observar que, durante la realización de un ejercicio incremental sobre cicloergómetro, se alcanzaba un punto en el que la ventilación pulmonar aumentaba en mayor medida que el consumo de oxígeno, utilizándose el momento de la ruptura de la ventilación como el “punto de máxima eficiencia ventilatoria” (Brooks, 1985) denominándose también como umbral ventilatorio.

El término umbral anaeróbico fue introducido en la literatura por Wassermann & McIlroy en 1964 (López Chicharro & Legido, 1991; Weltman, 1995) para relacionar los puntos de ruptura de la ventilación y del lactato durante el ejercicio incremental. Wassermann (1984, en Weltman, 1995) define el concepto como el nivel de ejercicio por encima del consumo de oxígeno en el cual la energía aeróbica es suministrada por los mecanismos anaeróbicos.

El concepto de umbral anaeróbico, o el modo de obtener dicho parámetro en la práctica, ha dado lugar a una diversidad terminológica y de procedimientos para determinarlo y en muchas ocasiones se ha utilizado una variada nomenclatura para describir el mismo fenómeno (Weltman, 1995). A partir de la respuesta del lactato sanguíneo durante el ejercicio Jacobs (1986) resume los distintos términos que han aparecido en la bibliografía internacional como “lactate breaking point” (punto de ruptura del lactato), “aerobic capacity” (capacidad aeróbica; Davies *et al.*, 1970), “anaerobic threshold” (umbral anaeróbico; Wasserman *et al.*, 1973), “aerobic-anaerobic threshold” (umbral aeróbico-anaeróbico, Mader *et al.*, 1976), “onset of plasma lactate accumulation: OPLA” (inicio de la acumulación de lactato en plasma; Farrell *et al.*, 1979), “aerobic threshold” (umbral aeróbico; Kindermann *et al.*, 1979), “excess lactate” (exceso de lactato; Williams *et al.*, 1979), “lactate threshold” (umbral de lactato; Ivy *et al.*, 1980), “onset of blood lactate accumulation: OBLA” (inicio de la acumulación de lactato en sangre; Sjodin & Jacobs, 1981) o “lactate turning point” (punto de ruptura del lactato; Davis *et al.*, 1983). Weltman (1995) distingue también los umbrales obtenidos a partir del incremento de 1 mmol/l de la concentración de lactato en sangre por encima de los valores basales (Coyle *et al.*, 1983) o del consumo de oxígeno asociado a una concentración de lactato en sangre de 2,5 mmol/l (Hagberg *et al.*, 1982).

Debido a esta variedad de términos que pretenden describir un fenómeno similar López Calbet & Gorostiga (2002) hacen referencia a la necesidad de considerar dos tipos distintos de modelos de umbrales anaeróbicos. Según estos autores la interpretación clásica de este concepto sería a partir de la acumulación de lactato en sangre, por lo que este modelo se podría denominar como “umbral láctico”.

El segundo tipo de modelos consideraría al umbral anaeróbico como la intensidad de carga que puede ser mantenida durante un tiempo prologando sin un aumento consiguiente de la acumulación de lactato, es decir, en una situación de estabilidad metabólica. Este punto se conoce también como “MaxLact-st” (concentración máxima de lactato en estado estable) (López Calbet & Gorostiaga, 2002). Para poder conocer la intensidad a la que se alcanza este valor se han utilizado distintos métodos como la determinación de la intensidad de carga que produce una concentración de lactato de 4 mmol/l, punto que se suele conocer como “umbral fijo de 4 mmol/l” (López Calbet & Gorostiaga, 2002) y también otros basados en la determinación del umbral anaeróbico individual (IAT). El IAT (Stegmann *et al.*, 1981, en Weltman, 1995) representa el más alto consumo de oxígeno que se puede mantener durante un tiempo prolongado (15-20 min) sin un aumento consiguiente de la concentración de lactato. Este concepto se desarrolló en Alemania del Este y es un parámetro individual de cada deportista, por lo que se ha sugerido que es la medida del lactato más precisa para predecir el rendimiento aeróbico (McLellan & Jacobs, 1989; Stegmann & Kindermann, 1982; ambos en Weltman, 1995).

La concentración de lactato no refleja necesariamente la producción de lactato muscular sino que muestra la diferencia entre el flujo de lactato desde los músculos al torrente circulatorio y la toma de lactato por parte de los músculos y otros tejidos (Brooks, 1985). El lactato se produce de manera predominante en el músculo activo desde donde se libera al torrente sanguíneo; una porción elevada pasa al hígado, corazón y a la musculatura activa, donde se consume. La forma en que se realiza resulta ser el balance residual de estos procesos: producción vs. aclaramiento (Jacobs, 1986).

La proliferación de estudios sobre la valoración de la capacidad aeróbica se debe principalmente a la facilidad del registro de la respuesta del lactato durante el ejercicio y a la mejorada precisión de los sistemas empleados para el análisis (Jacobs, 1986). La utilidad del procedimiento se debe también a que una única muestra de lactato durante el ejercicio submáximo puede ser suficiente para evaluar el estado de resistencia (Jacobs, 1986).

Además de la terminología empleada para definir el umbral existen otra serie de factores que pueden incidir en la determinación de dicho parámetro como podrían ser el protocolo de evaluación empleado, el tipo de ergómetro, el lugar de extracción de la muestra de sangre, el tipo de fibras musculares del deportista, la disponibilidad de sustratos, la ingesta de cafeína, la proporción de carbohidratos en la dieta, el estado de entrenamiento, las condiciones medioambientales (altitud, temperatura), el ratio de difusión de hidrogeniones, la capacidad para eliminar el lactato por otros tejidos (sudor, riñones, músculos activos), etc. (Jacobs, 1986; Shephard, 1992b; Weltman, 1995).

Durante el ejercicio el procedimiento habitualmente empleado para recoger muestras de sangre consiste en aplicar un vasodilatador químico o agua caliente en la zona en la que se va a realizar la extracción, generalmente el lóbulo de la oreja o la yema del dedo (López Calbet & Gorostiaga, 2002). Cuando son pocas las medidas a realizar durante el ejercicio se suelen tomar muestras de sangre arterial o sangre capilar arteriolizada (Shephard, 1992b) mientras que en caso de la realización de mediciones múltiples se puede introducir un catéter en una vena antecubital, aunque este tipo de procedimientos suele alejarse de la investigación en el alto rendimiento deportivo.

Existen pocas referencias sobre la determinación del umbral anaeróbico en los árbitros o árbitros asistentes en el fútbol. Krustup & Bangsbo (2001) y Krustup *et al.* (2002) aplicaron un protocolo similar que consistía en la realización de series de carrera a velocidades constantes (10, 12 y 14 km/h) por los dos grupos de jueces. Para cada una de las velocidades de carrera se registraron una serie de parámetros fisiológicos que se pueden comparar en la Tabla 1.12.

Tabla 1.12 Comparación de la respuesta de distintas variables fisiológicas al aplicar el mismo test submáximo a árbitros (Krustup & Bangsbo, 2001) y árbitros asistentes (Krustup et al., 2002).

	10 km/h		12 km/h		14 km/h	
	Árbitros	Asistentes	Árbitros	Asistentes	Árbitros	Asistentes
VO₂ (l/min)	2,91	2,54	3,32	2,95	3,70	3,35
% VO₂máx	72	69	83	80	92	91
FC (p/min)	147	147	163	163	177	178
% FC_{máx}	77	77	86	86	93	94
Lactato	2,2		3,5		6,5	

Castagna *et al.* (2002b) utilizaron un protocolo incremental progresivo (modificación del test en pista de la Universidad de Montreal) para determinar el umbral de lactato en ocho árbitros italianos de alto nivel. Para ello los árbitros debían correr sobre una pista de atletismo a intensidad marcadas, iniciando la carrera a una velocidad de 8 km/h e incrementando la velocidad en 2 km/h cada 2 min. Entre cada aumento de la velocidad se establecía una pausa de 30 s en la que se tomaban muestras de sangre para analizar la concentración de lactato. La velocidad de carrera para los

árbitros con acumulaciones de lactato de 2 y 4 mmol/l fue de 10,9 y 13,6 km/h, respectivamente.

En el caso de los futbolistas existen numerosos estudios que han intentado determinar el umbral anaeróbico (White *et al.*, 1988; Gorostiaga, 1993; Bangsbo, 1994a; Casajús, 2001) aunque el distinto criterio empleado para definir el umbral, el protocolo llevado a cabo, el lugar donde se realiza la prueba, el material de laboratorio disponible o la muestra de los deportistas son factores que desempeñan una influencia crucial sobre los resultados obtenidos. Es por ello que Gorostiaga (2001) señala que “conviene ser cautos al interpretar y comparar estos valores”. De modo general Kindermann *et al.* (1993) (en Shephard, 1999) señala que los futbolistas de alto nivel pueden mantener una velocidad mayor a 14,4 km/h en el umbral anaeróbico.

El momento de la temporada en el cual se realiza la valoración de la capacidad aeróbica es otro factor que puede tener una influencia notable en los resultados. Es común observar en los distintos estudios como los futbolistas presentan valores más elevados durante el período competitivo (Rodríguez, 1994; Jiménez *et al.*, 1997; Dumbar, 2001; Ramos *et al.*, 2001; Casajús, 2001) que en la fase inicial de la temporada. Asimismo el puesto específico es otro factor incidente en el umbral anaeróbico. Gorostiaga (2001) concluye que los medios y carrileros tienen una velocidad de carrera de 13-14 km/h en el umbral anaeróbico individual mientras que en los centrales o laterales explosivos este valor decrece hasta los 11,5-12,5 km/h.

Debido a que en muchas ocasiones los deportistas y entrenadores no tienen acceso a material sofisticado para llevar a cabo pruebas de esfuerzo en laboratorio,

se han desarrollado otros procedimientos para determinar el umbral anaeróbico de una manera más accesible y sobre el propio terreno de juego.

De entre todas las pruebas que se han planteado lograr este propósito es el test de Conconi (Conconi *et al.*, 1982) el que ha logrado una mayor trascendencia en la literatura deportiva. Esta prueba se fundamenta en la teórica relación directa existente entre la respuesta de la frecuencia cardiaca y la intensidad de la carga al realizar un ejercicio físico a niveles submáximos, hasta llegar a un punto en el cual se pierde la linealidad. Conconi *et al.* (1982) observaron en deportistas como la relación entre la frecuencia cardiaca y la velocidad de carrera era lineal de velocidades bajas a submáximas y curvilínea de velocidades submáximas a máximas. Este punto de inflexión de la curva resultaba ser coincidente con una acumulación acentuada de lactato en sangre debido a la activación de la vía anaeróbico láctica (Conconi *et al.*, 1982). Al aplicar este test a futbolistas profesionales, Gremion & Gobelet (1982) observaron como la correlación entre el umbral anaeróbico individual, el OBLA y la velocidad de deflexión obtenida en el test de Conconi resultaban insuficientes, por lo que la prueba no parecía ajustarse a las exigencias para la evaluación de esta población específica de deportistas. En cualquier caso existen referencias sobre la aplicación de una variante de esta prueba en futbolistas profesionales españoles (Masaach, 1992; Yagüe, 2002).

Amparado en la fundamentación fisiológica que sustentaba al test de Conconi Probst (1988) (en Winkler, 1993) describe una prueba para determinar el umbral anaeróbico en futbolistas mediante un protocolo interválico que pretendía parecerse a los esfuerzos realizados por los deportistas durante la competición. La prueba se desarrollaba sobre un circuito formado con 14 conos separados entre sí 10 m en forma de slalom con una longitud de vuelta total de 140 m. Cada dos vueltas los

jugadores paraban 30 s para descansar. El test se iniciaba a una velocidad de 10,8 km/h y se aumentaba la velocidad 0,6 km/h en cada fase (280 m). Este test ha sido aplicado tanto con muestras de futbolistas jóvenes alemanes (Winkler, 1993) como españoles (García López *et al.*, 2002) y fue modificado por Labsy *et al.* (2004).

Otro procedimiento sencillo empleado para estimar el umbral anaeróbico en futbolistas a partir de una única serie de carrera fue desarrollado por Sirtori *et al.* (1993). Estos autores llevaron a cabo un estudio con 35 jugadores de nivel medio que realizaron una carrera de 6 min de duración a una velocidad constante de 13,5 km/h. A partir de las ecuaciones de regresión obtenidas según la respuesta de la frecuencia cardiaca y el lactato en sangre capilar al finalizar la carrera elaboraron distintas ecuaciones para predecir la velocidad OBLA siendo la más precisa ($r^2=0,91$) que se fundamenta en la concentración de lactato capilar obtenida a la conclusión del esfuerzo. Esta prueba submáxima (test de Mogroni) ha tenido una gran aceptación en Italia para la valoración de los deportistas por la facilidad para evaluar a un elevado número de sujetos en poco tiempo: 40 min para 20 jugadores (Impellizzeri *et al.*, 2005). Impellizzeri *et al.* (2004a) corroboraron los datos obtenidos por Sirtori *et al.* (1993) concluyendo que la concentración de lactato al finalizar la carrera de 6 min estaba linealmente relacionada con la velocidad OBLA medida en los mismos sujetos durante un test incremental.

Se pueden encontrar en la bibliografía referencias sobre la aplicación de otra serie de pruebas para determinar el umbral anaeróbico (Malomsoki, 1993; Islegen *et al.*, 1997; Brady *et al.*, 1997; Çeçen Aksu *et al.*, 2004; McMillan *et al.*, 2004; Denadai *et al.*, 2004) todas ellas basadas en el registro de la acumulación de lactato durante la realización de esfuerzos a distintas intensidades.

La velocidad de carrera en el umbral anaeróbico o en el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ puede verse influida por la economía de la carrera. Las causas de esta diferencia energética podrían deberse a las estructuras anatómicas, la eficiencia mecánica, las características neuromusculares o el almacenamiento de energía elástica (Pate & Kriska, 1984, en Hoff, 2005). El modo habitual de expresar la eficiencia energética durante la carrera es mediante el consumo de oxígeno correspondiente a una carga de trabajo constante.

Stolen *et al.* (2005) hacen referencia a un estudio de su grupo de investigación en el que determinaron como los futbolistas en edad senior tenían una diferencia de 5 ml/kg/min en relación a los más jóvenes en la economía de carrera a una velocidad de 9 km/h. De un modo práctico esta diferencia vendría a significar que los futbolistas adultos se ejercitaban a unas 10 p/min menos que los jóvenes en relación a su $\text{FC}_{\text{máx}}$, para una misma intensidad del esfuerzo. Hoff & Helgerud (2004) concluyen que una mejora de un 5% en la eficiencia de la carrera podría representar recorrer 1.000 m más durante los partidos.

1.2.3.3 Valoración de la resistencia intermitente

Aunque la clasificación tradicional de la resistencia se enfoca desde el punto de vista de la vía prioritaria para la obtención de la energía, en deportes como el fútbol los procesos aeróbicos y anaeróbicos se suceden de una manera intermitente de manera que se podría hacer mención a un tipo adicional de resistencia en la cual se alternan las dos vías metabólicas. Una de las razones que han llevado al desarrollo de este tipo de pruebas se debe al hecho que parámetros como el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ no sean

excesivamente sensibles al rendimiento en el deporte del fútbol (Bangsbo & Mizuno, 1988).

Es por ello que muchos autores se han alejado de los tests clásicos de valoración de estas cualidades físicas en un intento por desarrollar pruebas específicas que replican el patrón de esfuerzos que solicita la competición. A partir del análisis de las demandas que supone la competición se han planteado distintas pruebas intermitentes con el objetivo de poder predecir el rendimiento en los partidos oficiales en función del resultado logrado.

Este procedimiento fue seguido por Harley *et al.* (2001a) que desarrollaron una prueba incremental siguiendo el patrón de movimientos de los árbitros en los partidos. Sobre un cuadrado de hierba de 50 m de lado, los deportistas debían completar vueltas siguiendo la siguiente secuencia: 50 m de trote + 6 s de reposo + 20 m de carrera de espalda + giro y sprint durante 10 m + 20 m andando (Figura 1.14). La secuencia se repetía y cada 3 min se aumentaba la velocidad (hasta un total de nueve niveles).

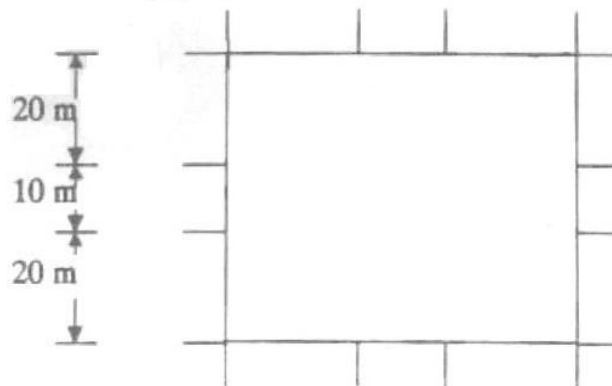


Figura 1.14 Esquema del test específico para valorar la resistencia en los árbitros. (Figura tomada de Harley *et al.*, 2001a).

De cara a validar la prueba Harley *et al.* (2001a) pasaron el test a seis árbitros amateurs ingleses que completaban también una prueba máxima sobre tapiz y la Course-Navette. La distancia recorrida en este test mostraba una relación positiva y significativa con la prueba en tapiz ($r=0,82$) y con la Course-Navette ($r=0,73$). Para estudiar la reproductividad y objetividad del test doce árbitros hicieron el test dos veces con un intervalo de una semana y tres observadores calificaron el primer test. No hubo diferencias significativas pero sí una correlación significativa ($r=0,95$) entre ambas puntuaciones con un coeficiente de variación del 5,4%. Tampoco se apreciaron diferencias significativas en la interpretación de los resultados por lo que Harley *et al.* (2001a) concluyeron que el test era válido ecológicamente y por criterio.

Bangsbo (1994b) planteó dos pruebas, semejantes en su ejecución, para valorar la capacidad de los deportistas para realizar ejercicio intermitente que han tenido una aceptación positiva en la literatura. El “Yo-yo Intermittent Recovery Test” (YYIRT; prueba intermitente de recuperación en forma de yo-yo) pretende examinar la capacidad del deportista para recuperarse del ejercicio intenso (Bangsbo 1994b y 1998a). Con un diseño similar al de la prueba de la Course-Navette los deportistas deben desplazarse sobre un trazado de 20 m a velocidades progresivamente crecientes disponiendo de un intervalo de recuperación de 10 s entre cada 40 m de carreras en los que el sujeto debe caminar 10 m.

Krustrup & Bangsbo (2001) aplicaron esta prueba a un grupo de árbitros daneses que recorrieron una distancia media de 1.308 m encontrando una fuerte relación significativa entre la marca obtenida en esta prueba y la distancia recorrida a una elevada intensidad por los árbitros en los partidos de competición oficial ($r=0,75$). En una aplicación más reciente del test a una muestra de 42 árbitros daneses

Bangsbo *et al.* (2004b) determinaron una distancia media recorrida en la prueba de 1.584 m sin apreciar diferencias significativas en los resultados en función de la edad de los jueces.

Recientemente este mismo grupo de investigación danés ha publicado datos relativos a la validación de la prueba (Krustrup *et al.*, 2003a) habiéndose mostrado particularmente sensible para diferenciar, en función de la distancia lograda, entre el nivel de los futbolistas (Mohr *et al.*, 2003), el puesto específico ocupado dentro del sistema de juego del equipo (Krustrup *et al.*, 2003a; Mohr *et al.*, 2003) o la adaptación al entrenamiento (Bangsbo & Michalsik, 2001), al mismo tiempo que ha sido aplicada en el estudio de poblaciones de futbolistas de género femenino (Kirkendall *et al.*, 2004; Mohr *et al.*, 2004b; Krustrup *et al.*, 2005) así como de jóvenes jugadores (Metaxas *et al.*, 2005).

En la prueba “Yo-yo Intermittent Endurance Test” (YYIET; prueba de resistencia intermitente en forma de yo-yo; Bangsbo, 1994b) los deportistas deben recorrer una distancia de 20 m en forma de ida y vuelta a velocidades progresivamente crecientes marcadas por señales auditivas, con un intervalo de recuperación después de cada carrera de 5 s. Las velocidades de carrera empleadas en esta prueba son inferiores a las de la prueba de recuperación intermitente anteriormente descrita. El objetivo de este test (Bangsbo, 1994b) es evaluar la habilidad de un deportista para realizar de forma repetida un ejercicio intenso después de un ejercicio intermitente prolongado. Michalsik *et al.* (en Bangsbo & Michalsik, 2001) encontraron una relación significativa entre el rendimiento en este test y un ejercicio intermitente de larga duración (entre 60 y 180 min) realizado sobre tapiz rodante.

Castagna *et al.* (2004b) opinan que aunque esta prueba puede someter a los deportistas a una respuesta fisiológica máxima no debe utilizarse como un reflejo de la potencia aeróbica máxima de los sujetos ya que no encontraron relaciones significativas entre la distancia recorrida durante la prueba y el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ registrado durante la realización del test utilizando un equipo portátil Cosmed K4 b2 en un grupo de 18 jugadores regionales de edad juvenil.

Recientemente Mohr *et al.* (2004a) han llevado a cabo una versión submáxima del test basada en la realización únicamente de los 6 primeros min de la prueba. Este procedimiento fue empleado para controlar el rendimiento de los futbolistas de la selección de Dinamarca 3, 2, 1 mes y 1 semana antes del Mundial del año 2002. El coeficiente de variación de la frecuencia cardiaca a los 6 min, al hacer el mismo test con una semana de diferencia entre pruebas, fue del 1%. Estos mismos autores realizaron un análisis cinemático de un partido en un intervalo menor a una semana en relación a la aplicación de la prueba observando una correlación significativa inversa ($r=-0,61$) entre el pico máximo de distancia recorrida a una alta intensidad en intervalos de 5 min durante el encuentro y la frecuencia cardiaca relativa al final de la prueba (91,4% de la $\text{FC}_{\text{máx}}$).

Para valorar la capacidad para realizar ejercicio intermitente por parte de los futbolistas se han planteado numerosas pruebas en campo que intentan replicar los esfuerzos realizados durante los encuentros. El test de Ekblom (1989) (en Ekblom, 1993) consiste en un circuito de 540 m trazado sobre el terreno de juego en el que se alternan distintos tipos de desplazamientos. Según los datos de Ekblom (1993) este test podría servir para reflejar la adaptación de los deportistas al entrenamiento puesto que el tiempo en completar la prueba disminuía en el período competitivo en relación a los valores logrados en la pretemporada. Bangsbo *et al.* (1991)

emplearon el test continuo de Ekblom en la evaluación de 14 jugadores daneses sin encontrar diferencias significativas en la marca obtenida entre los tres puestos específicos comparados. Bangsbo & Lindquist (1992) realizaron un ligera modificación del test y hallaron una relación inversa entre el tiempo empleado en la prueba y la distancia total recorrida durante los partidos ($r=-0,68$), aunque no con la distancia recorrida a una elevada intensidad ($r=-0,44$).

Bangsbo (1994b) diseñó un test intermitente en campo en el cual los futbolistas debían completar el mayor número de vueltas a un circuito sobre un terreno equivalente al área de penalty de un campo de fútbol en el que se alternaban distintos tipos de desplazamientos con una alternancia de intensidades. La validez de este test para predecir la distancia total recorrida durante los partidos por los futbolistas muestra resultados contradictorios, puesto que mientras que Bangsbo & Lindquist (1992) no encontraron una relación significativa entre la distancia recorrida en la prueba y en los partidos ($r=0,38$), Bangsbo (1994b) sí determinó una relación lineal entre la marca en esta prueba y la distancia total recorrida durante los encuentros. Este test ha sido empleado también para diferenciar entre jugadores que ocupaban distintos puestos específicos (Bangsbo, 1994a y 1998) y para evaluar el estado físico de los futbolistas a lo largo de un temporada (Rebelo & Soares, 1997).

El desarrollo de pruebas para valorar la capacidad de resistencia específica de los futbolistas es un tema de vigente interés en el ámbito de las ciencias del deporte lo que ha derivado en la proliferación de publicaciones relativas al desarrollo y aplicación de nuevas pruebas en campo (Balsom, 1993; Nicholas *et al.*, 2000; Hoff *et al.*, 2002; Kemi *et al.*, 2003; Edwards *et al.*, 2003; Ohashi *et al.*, 2004; Edwards & Clark, 2004; Balsom, 2004; Chamari *et al.*, 2005). Además de todas las pruebas

específicas en campo anteriormente descritas se han desarrollado también pruebas intermitentes en laboratorio para simular los desplazamientos efectuados durante el juego (Bangsbo & Lindquist, 1992; Nagahama *et al.*, 1993; Drust *et al.*, 2000 y 2001; Thatcher & Batterham, 2004).

Según todo lo expuesto en la presente sección los tests desarrollados para valorar la capacidad de desarrollar ejercicio intermitente por los deportistas están fundamentados en el análisis cinemático del juego, intentando replicar los esfuerzos realizados durante la competición. A pesar de que la mayoría de estas pruebas tienen una sollicitación fisiológica similar a la experimentada durante el juego se requiere de mayor número de estudios que profundicen en la validez de las pruebas como medio para predecir el rendimiento físico durante el juego, al tiempo que parece necesario el desarrollo de pruebas cuya ejecución sea más accesible para los entrenadores y/o preparadores físicos.

1.2.3.4 Valoración de la resistencia anaeróbica

Para dar solución a los episodios de alta demanda energética durante el juego el cuerpo humano obtiene la energía, sin la presencia del oxígeno, a partir de las reservas musculares de ATP, PC y la degradación de las moléculas de glucosa, con el consiguiente incremento en la tasa de lactato.

La potencia anaeróbica representa la máxima velocidad con la que se puede obtener la energía sin la presencia del oxígeno, mientras que la capacidad anaeróbica refleja la máxima producción de energía que un individuo puede obtener

durante la realización de un ejercicio hasta el agotamiento (Bangsbo & Michalsik, 2001).

La valoración de la capacidad anaeróbica en los deportistas es un elemento de continuo debate en el ámbito de la fisiología del ejercicio. Medbo *et al.* (1988) presentaron un método basado en el déficit de oxígeno acumulado ("MAOD: maximal accumulated oxygen deficit") a partir del cual se podía cuantificar la capacidad anaeróbica de los sujetos.

Bangsbo *et al.* (1993b) aplicaron este método en distintas poblaciones de deportistas, entre ellas a quince futbolistas profesionales, y determinaron un déficit de O₂ para éstos de 49,5 equivalentes de O₂/kg. Este déficit acumulado se veía influenciado por la cantidad de masa muscular empleada en el ejercicio aunque no por la distribución fibrilar de los músculos, la capacidad tampón muscular o el potencial oxidativo del músculo, por lo que Bangsbo *et al.* (1993b) sugieren que ningún factor muscular determina de manera individual la capacidad aeróbica, por lo que el déficit de oxígeno podría no ser una medida precisa de esta cualidad.

Resulta complicada la cuantificación de la energía anaeróbica generada durante el ejercicio intenso en los ejercicios que implican la utilización de grandes masas musculares (Bangsbo, 1998b) por lo que se han utilizado distintos métodos para evaluar el rendimiento máximo de los futbolistas durante ejercicios de corta duración realizados a la máxima intensidad para estimar indirectamente la potencia anaeróbica (Bangsbo & Michalsik, 2001) como el test de Margaria *et al.* (1966) en el que los sujetos debían subir a la máxima velocidad una escalera cronometrándose el tiempo empleado en el esfuerzo.

En el ámbito del arbitraje la FIFA introdujo en 1994 la prueba de valoración de la condición física de carrera sobre una distancia de 200 m. Este test se lleva a cabo sobre una pista de atletismo y los jueces tienen que recorrer la distancia en el menor tiempo posible (Tabla 1.13). La prueba pertenece únicamente al protocolo de evaluación de los árbitros que deben completar dos repeticiones de la misma con un tiempo máximo por intento de 32 s (FIFA, 1994a).

Tabla 1.13 Tiempo medio empleado por los árbitros en completar la prueba de carrera de 200 m.

Autor	Muestra (n)	Tiempo (s)
Rontoyannis <i>et al.</i> (1998)	1ª División (15)	30,2
	2ª División (37)	30,6
	3ª División (76)	31,5
	4ª División (60)	31,6
	Media (188)	31,2
Castagna <i>et al.</i> (2002a)	Italia (22)	29,6

Existen referencias de varias pruebas empleadas en el ámbito del fútbol para valorar la resistencia a la velocidad, que representa la capacidad para realizar esfuerzos máximos repetidos con la mínima pérdida de rendimiento. Esta cualidad física ha sido denominada en la literatura anglosajona como “Repeated Sprint Ability” (habilidad para sprintar repetidamente; Fitzsimons *et al.*, 1993).

Para estudiar el efecto de la fatiga en los árbitros asistentes (Krustrup *et al.*, 2002) y en los futbolistas (Mohr *et al.*, 2004c) en estos estudios se empleó un test en el que los deportistas realizaban tres sprints de 30 m con un intervalo de 25 s de

recuperación activa entre cada repetición en la cual los jugadores trotaban hasta la línea de salida.

Bangsbo (1994b) desarrolló el “Sprint Test” (test de sprint) para valorar esta capacidad en los futbolistas. La prueba consistía en completar siete vueltas a un circuito en el que los deportistas debían correr 34,2 m a la máxima velocidad, incluyendo un cambio de dirección, y recuperaban trotando 50 m en 25 s. La valoración del rendimiento en la prueba se realizaba computando el mejor tiempo en los sprints, el tiempo medio y el tiempo de fatiga (considerando la mejor y la peor repetición). Este test ha sido aplicado a futbolistas de distintos niveles (Sampaio & Maças, 2004a,b), así como en edad juvenil (Rebelo *et al.*, 1988) y de género femenino (Kirkendall *et al.*, 2004).

Otros tests de campo empleados para valorar la resistencia a la velocidad han sido descritos y empleados por Baker *et al.* (1993), Dawson *et al.* (1993), Godik & Popov (1993), Verheijen (1998) (en Masaach, 2004), Aziz *et al.* (2000), Power *et al.* (2004) y Dumbar & Treasure (2004).

En cualquier caso, la valoración de la resistencia anaeróbica ha entrañado una mayor dificultad en el ámbito del fútbol. En la actualidad está tendiéndose a la evaluación mediante ejercicios que exijan repeticiones de esfuerzos a la máxima intensidad sobre una distancia corta y con una recuperación incompleta aunque este tipo de protocolos requiere que muy pocos sujetos puedan examinarse simultáneamente y contar con un cronometraje manual. Esta individualización en la administración de este tipo de pruebas lleva consigo un tiempo elevado en concluir la evaluación en un grupo de deportistas.

1.2.3.5 Valoración de la velocidad

Durante la realización de un ejercicio de corta duración a la máxima intensidad la energía se obtiene a partir de la degradación del ATP y PC muscular. Aunque este tipo de esfuerzo se podría clasificar como de resistencia anaeróbico aláctica, atendiendo a la vía metabólica empleada para la obtención energética, se suele considerar también como una manifestación de una de las cualidades físicas: la velocidad.

Grosser (1992) define la velocidad como “la capacidad de conseguir, en base a procesos cognoscitivos, máxima fuerza volitiva y funcionalidad del sistema neuromuscular, una rapidez máxima de reacción de movimiento en determinadas condiciones estables”.

Martín Acero (2001) distingue tres manifestaciones elementales e integrales de velocidad: la velocidad de reacción, la aceleración y la velocidad máxima. A su vez la velocidad de reacción se compone del tiempo de reacción (llegada del estímulo desde el sistema nervioso central hasta el músculo) y del tiempo motor (generación de una respuesta motriz). La aceleración representa la capacidad para lograr la máxima velocidad en el menor tiempo posible, mientras que ésta es la culminación del esfuerzo previo y es dependiente de la duración del esfuerzo.

En la batería de pruebas físicas empleada por la FIFA para valorar la condición física de los árbitros y árbitros asistentes se incluye la prueba de carrera de 50 m en la cual los jueces deben recorrer la distancia en dos ocasiones en un tiempo inferior a 7,5 s (FIFA, 1994a). A tenor de la clasificación anterior esta manifestación correspondería al estudio de la velocidad máxima de los deportistas. Los datos

publicados en la bibliografía sobre el rendimiento de los jueces en esta prueba se resumen en la Tabla 1.14.

Tabla 1.14 Tiempo medio empleado por los jueces en completar la prueba de carrera sobre 50 m.

Autor	Muestra (n)	Tiempo (s)
Rontoyannis <i>et al.</i> (1998)	1ª División (15)	7,3
	2ª División (37)	7,4
	3ª División (76)	7,5
	4ª División (60)	7,5
	Media (188)	7,45
Castagna <i>et al.</i> (2002a)	Italia (22)	7,07
Krustrup <i>et al.</i> (2002)	Dinamarca AR	6,9
Krustrup <i>et al.</i> (2004a)	Dinamarca AR (21)	6,92

En el caso de los futbolistas el tiempo empleado en recorrer la distancia de 50 m va desde los 6,22-6,37 s (Villa *et al.*, 1999) a los 6,7-6,9 s (Tiryaki *et al.*, 1997).

Atendiendo a los resultados obtenidos en estudios que han comparado jugadores de distinto nivel (Cometti *et al.*, 2001) los futbolistas de mayor nivel son más rápidos que los que compiten en un escalón inferior, en especial sobre distancias cortas (Kollath & Quade, 1993).

1.3 Objetivos

1.3.1 Origen del trabajo

La realización del presente trabajo de investigación responde a una inquietud personal. Después de mucho tiempo dedicado al deporte del fútbol, en los inicios como jugador y más recientemente como entrenador/preparador físico, siempre ha quedado en mi la sensación de que no se entrenaba como se jugaba, es decir, que los medios de entrenamiento no eran específicos a las exigencias del juego.

Plasmar lo que sucede durante la competición con datos objetivos resulta en muchas ocasiones muy complicado de llevar a cabo, más aún si no se dispone de los medios tecnológicos para ello. La evaluación del rendimiento competitivo de los deportistas debe ser una herramienta imprescindible para los entrenadores en un intento por racionalizar lo acontecido durante el juego.

El papel de los árbitros en la Alta Competición en el deporte del fútbol se antoja fundamental para el correcto funcionamiento del mismo. Es por esto que la más alta institución encargada del desarrollo y control del deporte, la Federación Internacional de Fútbol Asociado, muestra una gran preocupación en como optimizar la preparación y el rendimiento de los árbitros y de los árbitros asistentes.

La conjunción de los dos factores anteriores dio origen al presente trabajo de investigación cuyo punto de partida fue proporcionar un asesoramiento científico a la FIFA sobre el rendimiento físico de los árbitros y árbitros asistentes participantes en el Campeonato del Mundo Sub-17 del año 2003.

1.3.2 Hipótesis

Una vez enmarcado el presente trabajo de investigación y antes de llevar a cabo la fase de adquisición y tratamiento de los datos se formularon una serie de hipótesis relativas a la prestación competitiva de los árbitros y árbitros asistentes.

(1) Los árbitros y los árbitros asistentes realizan un tipo de esfuerzo distinto durante la competición a pesar de ser habitualmente considerados como una misma población de deportistas tanto para el entrenamiento como para la evaluación. En la actualidad reciben los mismos planes de entrenamiento y deben someterse a las mismas pruebas para valorar su nivel de condición física.

La hipótesis nula (H_0) en este caso sería que los árbitros y árbitros asistentes realizan el mismo tipo de esfuerzo durante los partidos.

(2) Un nivel inadecuado de condición física de los árbitros y árbitros asistentes puede influir negativamente en el rendimiento en los partidos oficiales.

En este caso la hipótesis nula sería que no existe relación entre la fatiga y el rendimiento físico y técnico de los partidos.

(3) Las pruebas empleadas por la FIFA para valorar la condición física de los deportistas predicen de forma correcta el rendimiento físico de los árbitros y árbitros asistentes en la competición.

La tercera hipótesis nula sería que no existe una relación entre los resultados entre las pruebas físicas de la FIFA y el rendimiento físico en la competición.

1.3.3 Objetivos

Una vez enunciadas las hipótesis y definido el ámbito de actuación del trabajo, Campeonato del Mundo Sub-17 se presentan a continuación los objetivos del estudio:

Objetivo Principal

- Establecer el perfil de rendimiento físico en competición de los árbitros y los árbitros asistentes en el deporte del fútbol.

Objetivos Específicos

- (i) Desarrollar y validar un sistema fotogramétrico que permita el cálculo de posiciones sobre el terreno de juego.
- (ii) Calcular la distancia total recorrida por los árbitros y los árbitros asistentes durante los partidos de competición oficial y analizar su evolución a lo largo del tiempo.
- (iii) Elaborar el perfil de actividad de los árbitros y de los árbitros asistentes clasificando los desplazamientos en categorías en función de la velocidad lineal de los mismos.
- (iv) Examinar las características del ejercicio realizado por los jueces a una elevada intensidad durante los encuentros, atendiendo a la evolución del mismo a lo largo de periodos de juego seleccionados.

- (v) Analizar el posicionamiento técnico de los árbitros y de los árbitros asistentes a lo largo de los partidos incidiendo en la posición ocupada en el campo a la hora de la señalización de las infracciones (faltas y fueros de juego, respectivamente).
- (vi) Monitorizar la respuesta de un parámetro fisiológico (frecuencia cardiaca) en los árbitros y los árbitros asistentes durante los partidos de competición estudiando su distribución en intervalos absolutos y relativos de intensidad.
- (vii) Valorar el nivel de condición física de los árbitros y de los árbitros asistentes empleando la batería de pruebas físicas adoptadas por la Comisión de Arbitraje de la FIFA.
- (viii) Analizar las relaciones intra-individuales entre los resultados obtenidos en las pruebas de valoración de la condición física de los jueces y el rendimiento en la competición.

1.3.4 Plan de trabajo

El primer paso de la investigación fue el desarrollo de una herramienta válida y fiable para el análisis del juego. Este proceso fue largo (septiembre 2000-julio 2003) y durante el mismo se realizaron diversos estudios piloto, que dieron lugar a distintas publicaciones (Mallo, 2001; Navarro & Mallo, 2001; Mallo *et al.*, 2002).

El Laboratorio de Biomecánica Deportiva de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte del Madrid aportó todos los medios materiales y humanos necesarios para poder llevar a cabo el desarrollo de un sistema fotogramétrico en 2 dimensiones para el análisis del juego en los deportes de equipo.

Una vez validada la metodología y testada la misma tanto en situaciones de entrenamiento como de competición en el deporte del fútbol, se planteó su aplicación en un torneo del máximo nivel. Para ello se estableció una línea de investigación para la mejora del rendimiento de los árbitros y de los árbitros asistentes en colaboración con la FIFA. La estrategia de intervención desarrollada conjuntamente con el Departamento de Arbitraje de la FIFA se esquematiza en la Figura 1.15.

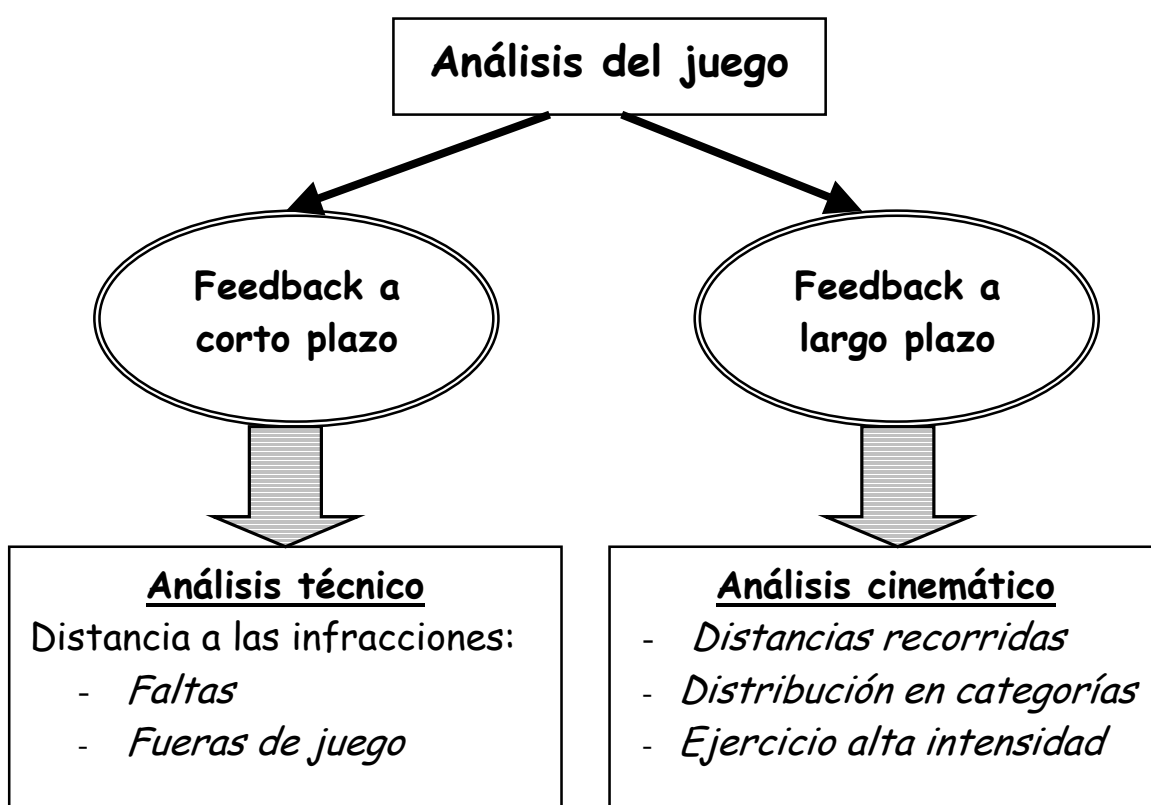


Figura 1.15 Estrategia de intervención para el apoyo al rendimiento de los árbitros y de los árbitros asistentes.

Al tratarse el Campeonato de una competición celebrada en un intervalo de 3 semanas se estableció una línea de trabajo a corto plazo, es decir, con el objetivo de proporcionar datos objetivos de forma inmediata (1 día de retardo) a la

conclusión de los partidos. Este tipo de datos era de índole técnico (posicionamiento, distancia a las infracciones, etc.). Una vez finalizada la competición el procesamiento y tratamiento de los datos se realizó en los siguientes meses y se elaboró el documento final. La Figura 1.16 resume los pasos fundamentales de la investigación.

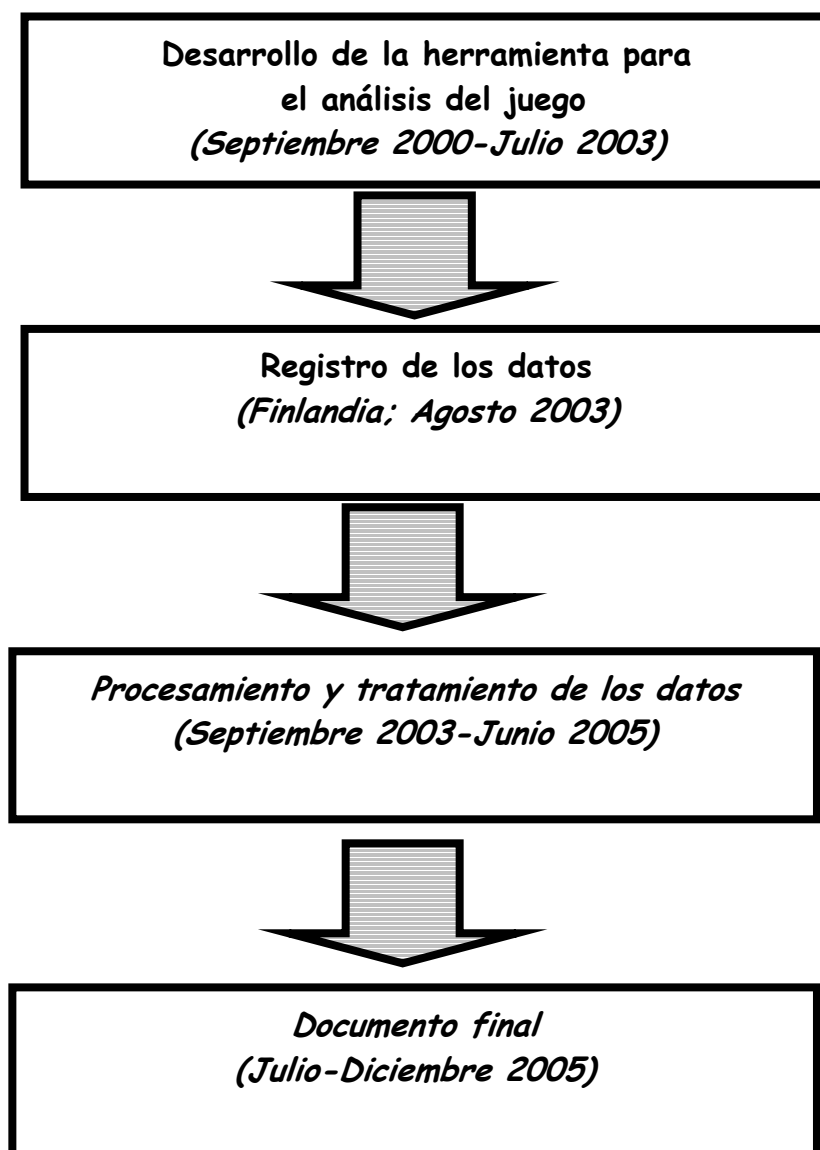


Figura 1.16 Cronograma del trabajo de investigación.

Capítulo 2.

MATERIAL Y MÉTODOS

2.0 Introducción

2.1 Análisis de la participación en el juego

2.2 Respuesta fisiológica durante la competición

2.3 Valoración de la condición física

2.4 Diseño general de la investigación



2.0 Introducción

El fenómeno deportivo, debido a su amplitud conceptual, se ha estudiado tradicionalmente desde muy diversas disciplinas científicas como la biomecánica, la fisiología del ejercicio, la pedagogía, la psicología del deporte, la educación física adaptada, el aprendizaje y desarrollo motor, el entrenamiento deportivo o la filosofía del deporte (Hall, 1999). Esto hace que en ocasiones los trabajos de investigación realizados en las ciencias del deporte abarquen contenidos multidisciplinares cuya debida interacción facilita la interpretación y el conocimiento de la realidad estudiada.

Es en esta dirección donde se enmarca el presente trabajo de investigación puesto que para profundizar en el conocimiento de los factores que conforman el rendimiento de los árbitros y árbitros asistentes durante la competición en el fútbol resulta necesario acudir a distintas materias transversales que configuran las ciencias del deporte como serían la biomecánica y la fisiología.

Partiendo desde estas disciplinas y tomando como referencia el modelo de análisis del rendimiento expuesto en la Introducción del trabajo el presente capítulo de la investigación establece tres partes claramente diferenciadas en cuanto al material y método empleados como son:

- 1.- Técnicas de análisis cinemático de las actividades realizadas durante el juego.
- 2.- Monitorización de la respuesta fisiológica durante la competición.
- 3.- Valoración de la condición física de los jueces.

Cada uno de estos tres apartados recibirá un tratamiento específico a lo largo del presente capítulo, puesto que las técnicas experimentales empleadas se ajustan en función de los objetivos que se pretenden lograr. Se trata en definitiva de tres trabajos de investigación desarrollados de forma paralela para intentar explicar un fenómeno común, el rendimiento final en el deporte, y así poder desarrollar una visión integral de las demandas que la competición suscita tanto en los árbitros como en los árbitros asistentes.

Las tres secciones en las que se estructura el presente capítulo están fundamentadas en el análisis del rendimiento de los jueces durante el Campeonato del Mundo sub-17, organizado por la FIFA, que se celebró en Finlandia entre los días 13 y 30 de agosto del año 2003.

2.1 Análisis de la participación en el juego

El análisis del juego (“match-analysis”) puede considerarse como una disciplina de reciente desarrollo. Aunque su origen se haya estado ligado a la propia evolución de los deportes de equipo no ha sido hasta los últimos veinte años cuando se han empezado a plasmar las investigaciones en forma de documentos escritos. El carácter agonista de la competencia deportiva ha retraído probablemente a muchos entrenadores de publicar por escrito sus modelos de análisis del deporte por temor a que estos fueran copiados por otros.

En 1997 Hughes (Hughes & Franks, 2004c) publicó una recopilación de las comunicaciones presentadas en los dos primeros congresos internacionales sobre el análisis del juego mediante anotaciones celebrados en Liverpool y Cardiff que supuso el inicio de esta área de conocimiento. En los años posteriores este congreso se ha ido celebrado en Turquía, Oporto, de nuevo Cardiff y la sexta edición en Irlanda del Norte en el año 2004. El rápido crecimiento del área de conocimiento ha dado lugar a la creación de la revista “International Journal of Performance Analysis of Sport” (elJPAS) (<http://cpa.uwic.ac.uk/eijpas>) que es gestionada y dirigida por el “Center for Performance Analysis” (Centro de Análisis del Rendimiento) de la Universidad de Cardiff (Hughes & Franks, 2004c). Los estudios sobre esta materia también han recibido acogida en los Congresos Internacionales de Ciencia y Fútbol (Reilly *et al.*, 1988, 1993, 1997; Spinks *et al.*, 2002) celebrados en sus cinco ediciones anteriores en Liverpool, Eindhoven, Cardiff, Sidney y Lisboa.

Por todo lo anterior se puede señalar a la zona oriental de Gran Bretaña como el epicentro de esta nueva línea de investigación sobre los deportes colectivos, sustentada en el “Research Institute for Sport and Exercise Sciences” (Instituto para la investigación en las Ciencias del Deporte y el Ejercicio) de la Universidad John Moore’s de Liverpool y en el “Center for Performance Analysis” de la Universidad de Cardiff, destacando las figuras de los profesores Tom Reilly, Adrian Lees (Liverpool) o Mike Hughes (Cardiff) entre muchos otros.

A día de hoy resulta complicado establecer un límite exacto entre la disciplina encargada del análisis del juego y la biomecánica deportiva, puesto que en ambos casos el análisis está enfocado hacia la mejora del rendimiento deportivo y ambas disciplinas comparten el empleo de técnicas basadas en el vídeo para realizar los análisis (Hughes & Bartlett, 2004). Mientras que el interés de los biomecánicos del deporte se ha centrado generalmente en el estudio de los movimientos donde la técnica desempeña un papel crítico (fundamentalmente en los deportes individuales) éstos han prestado una menor atención a los deportes colectivos sobre los que existe una mayor amalgama de factores que inciden en el rendimiento final (Hughes & Bartlett, 2004).

En cualquier caso ambas especialidades manejan muchas similitudes y objetivos comunes que Hughes & Bartlett (2004) concretan en:

- proporcionar a los entrenadores información para la mejora del rendimiento,
- manejar la complejidad de la información (validez y fiabilidad de los datos),
- aplicar sistemas de inteligencia artificial y/o
- desarrollar indicadores del rendimiento.

Estas semejanzas entre ambas materias llevaron a Barlett (2000) a plantearse si se podría establecer una nueva materia denominada análisis del rendimiento (“performance analysis”) que las agrupase a las dos.

El presente trabajo de investigación se ha concebido bajo este prisma integral evocado por Barlett (2000) en el intento por desarrollar una perspectiva global para abordar el análisis del fútbol en relación a la intervención de los árbitros y árbitros asistentes en el juego.

2.1.1 Técnicas de análisis biomecánico

La descripción del movimiento de los cuerpos y la determinación de las causas que determinan los mismos ha sido uno de los objetivos clásicos de la física y el objeto de estudio de una de las ramas fundamentales de dicha ciencia: la mecánica (Tipler, 1994). El concepto de mecánica lo estableció muchos siglos atrás el pensador griego Aristóteles (384-322 a.C.) (Gutiérrez, 1998).

Las dos grandes áreas de estudio de la mecánica son la cinemática y la dinámica (Figura 2.1). La cinemática intenta describir las características de los movimientos atendiendo principalmente a las variables espacio y tiempo, mientras que la dinámica se ocupa del análisis de las causas –fuerzas- que producen el movimiento o la ausencia del mismo (estado de equilibrio). Esto provoca que la dinámica se estructure a su vez en torno a dos áreas: la cinética, que engloba la descripción de las fuerzas que generan el movimiento, y la estática, que se encarga del estudio de los sistemas que realizan un movimiento constante (bien porque no existe un

movimiento o bien porque el desplazamiento se realiza a una velocidad uniforme) (Hall, 1999).

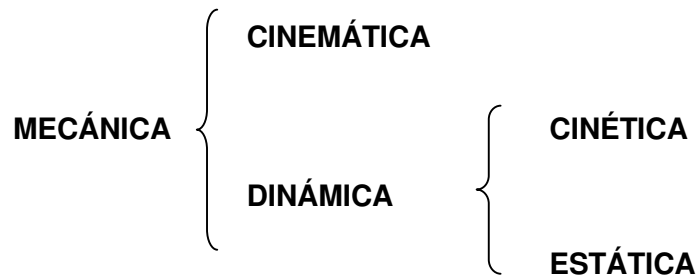


Figura 2.1 Estructura conceptual de la mecánica.

Cuando la perspectiva mecánica se adopta para el estudio de los seres vivos esta área de conocimiento se suele denominar como biomecánica (Donstoi & Zatsiorski, 1988). Aunque la biomecánica, bajo dicha denominación, se trata de una disciplina relativamente reciente, el interés por el conocimiento del cuerpo y su movimiento se remonta varios siglos atrás. Figuras como Da Vinci (1452-1519), Galileo Galilei (1564-1642), Descartes (1596-1642) o Newton (1642-1727) plasmaron en sus obras aspectos relativos al movimiento de los seres vivos aunque Viladot (1992) considera a Borelli (1608-1689) como el autor con mayor influencia sobre lo que es hoy en día la biomecánica del aparato locomotor, debido a sus estudios sobre el sistema osteomuscular de los animales. Ya en el siglo XX investigadores como Hill (1886-1977) o Bernstein (1896-1966) han contribuido con sus investigaciones a la evolución de la biomecánica, al tiempo que se han ido desarrollando nuevas técnicas instrumentales y sistemas de medida que han facilitado el asentamiento de la materia (Nigg *et al.*, 2000).

Prat (1993) distingue tres campos dentro de la biomecánica con sus consiguientes objetivos: el médico, el ocupacional y el deportivo. El origen de la biomecánica deportiva está ligada a la restauración de los Juegos Olímpicos modernos (Hochmuth, 1973). La utilización política del deporte otorga a las naciones vencedoras una plusvalía sociológica, de manera que tras la Segunda Guerra Mundial se dota al deporte de mayores medios materiales y humanos con lo que se profundiza en la investigación para la mejora del rendimiento de los deportistas. Este hecho es más plausible en los países del Este que se hallan a la cabeza del desarrollo de la biomecánica deportiva, organizándose en el año 1931 en Leningrado (Rusia) el primer ciclo de conferencias sobre la biomecánica de los ejercicios corporales mientras que en el año 1960 se celebra en Leipzig (Alemania del Este) el primer congreso internacional sobre biomecánica deportiva (Hochmuth, 1973).

A partir de los años setenta la biomecánica deportiva ha sido el área de conocimiento que ha experimentado la mayor evolución, en cuanto a interés y productividad, de todas las ciencias del deporte (Grabiner, 1993) debido principalmente al desarrollo de nuevos medios y herramientas para el registro de los datos. En el año 1968 se editó por vez primera la revista “Journal of Biomechanics” con el objetivo de aglutinar los conocimientos disponibles en esta materia. Años más tarde (en 1973) se constituyó de manera oficial la Sociedad Internacional de Biomecánica (“International Society of Biomechanics”) y en 1985 la publicación más relevante de esta área de conocimiento pasó a denominarse “International Journal of Sports Biomechanics”.

El análisis biomecánico se define como el proceso de obtención de información y tratamiento de esa información con el fin de investigar (cuantificar, explicar,

optimizar) y evaluar el movimiento humano (Bartlett, 1999). El concepto de análisis biomecánico es muy general; recoge los procedimientos utilizados por la biomecánica para analizar el movimiento humano. Debe tenerse en cuenta que la biomecánica es una ciencia principalmente experimental y que los conocimientos que genera provienen de la investigación (Navarro, 2004).

La aplicación de las técnicas de análisis biomecánico al deporte pretenden mejorar el rendimiento técnico de los deportistas “extrayendo información relevante sobre el ejecución de un gesto técnico y comparándolo, objetiva y cuantitativamente con un patrón de referencia” (Navarro, 1998). Este tipo de análisis (Navarro, 1998) suelen utilizarse para:

- establecer un modelo de ejecución técnica,
- comparar la ejecución con un criterio (patrón) de referencia,
- conocer las variables que caracterizan cada destreza motriz (posiciones, distancias, velocidades, aceleraciones, etc.),
- prevenir la aparición de lesiones,
- diseñar complementos y herramientas para mejorar el proceso de entrenamiento deportivo y/o
- desarrollar metodología, instrumentos para la experimentación (instrumentación).

Para poder llevar a cabo el análisis biomecánico en el deporte resulta imprescindible disponer de técnicas instrumentales adecuadas que permitan alcanzar los objetivos de la investigación. Las tres técnicas experimentales principales de la biomecánica deportiva son la fotogrametría, las plataformas de fuerza y la electromiografía (Bartlett, 1997) aunque también se puede analizar el

movimiento utilizando otras técnicas como la acelerometría, la dinamometría, los sensores de presiones, la electrogoniometría o la antropometría.

La realización de esta parte del trabajo de investigación, encaminada hacia la obtención de los resultados relativos al comportamiento de los árbitros y árbitros asistentes durante el juego, se llevó a cabo utilizando los recursos técnicos y humanos disponibles en el Laboratorio de Biomecánica Deportiva de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte (INEF) de la Universidad Politécnica de Madrid.

2.1.2 Modelo teórico

2.1.2.1 Modelo del cuerpo

A la hora de estudiar la aplicación de las leyes de la mecánica sobre un ser vivo resulta imprescindible la utilización de un modelo mecánico que represente, de manera ideal, el cuerpo humano. El modelo teórico más utilizado en la biomecánica deportiva es el modelo mecánico de sólidos rígidos articulados entre sí (Navarro, 1994).

El movimiento de un segmento según el modelo del sólido rígido puede ser de tres tipos: movimiento de traslación, movimiento de rotación o como una combinación de ambos –movimiento general- (Bartlett, 1997). El movimiento de traslación pura de un cuerpo se produce cuando todas las partes del cuerpo se desplazan la misma distancia, en la misma dirección y en el mismo intervalo de tiempo (Hay & Reid, 1982). Este tipo de movimiento puede ser rectilíneo o curvilíneo según la trayectoria

descrita durante el mismo. El movimiento de rotación pura -desplazamiento angular- implica que todas las partes del cuerpo se desplacen el mismo ángulo en el mismo tiempo y en la misma dirección sobre el eje de rotación (Bartlett, 1997).

En función del tipo de desplazamiento estudiado será necesario el desarrollo de un modelo ideal de cuerpo sobre el que se pueda comprobar la aplicación de las leyes de la mecánica. Estos modelos están fundamentados en procedimientos matemáticos y se utilizan para la simulación y optimización de la técnica deportiva (Bartlett, 1999). Es por ello que dentro de la biomecánica se han desarrollado modelos cinemáticos y cinéticos para el estudio del movimiento humano (Navarro, 1994).

La traslación de un cuerpo en el espacio y en el tiempo sólo se puede determinar con exactitud si se conoce el centro de gravedad del cuerpo en sus diferentes posiciones. El centro de gravedad o centro de masas de un sujeto puede representarse mediante un modelo de un punto o de una partícula. La utilización de este tipo de modelos se realiza cuando no se investigan los movimientos relativos de las partes del cuerpo ni la rotación de éste (Donstoi & Zatsiorski, 1988) ya que el modelo del centro de masas representa una distribución uniforme de la masa del objeto alrededor de dicho punto (Bartlett, 1997). Para el estudio de los desplazamientos angulares Bartlett (1997) propone la utilización de un modelo de sólido rígido o de un sólido cuasi-rígido. Como la mayoría de los movimientos humanos resultan de una combinación de movimientos de traslación y de rotación el propio Bartlett (1997) sugiere el empleo de un modelo multisegmentario, en el que cada segmento corporal es tratado como un sólido rígido, para el estudio de este tipo de movimientos.

Borelli (1608-1679) fue el primer investigador en determinar experimentalmente la posición del centro de gravedad del cuerpo humano. Desde entonces se han desarrollado diversos modelos mecánicos que facilitan la estimación o el cálculo de la posición del centro de gravedad del cuerpo humano que requieren, especialmente cuando se realiza un análisis dinámico, la determinación de los parámetros inerciales de los segmentos: masa de los segmentos, localización porcentual de los centros de gravedad de los segmentos y momentos inercia respecto a los ejes principales (Navarro, 1994). A partir de estudios llevados a cabo con cadáveres diversos autores (Braune & Fisher, 1889; Dempster, 1955; Clauser, 1969; Chandler, 1975, todos ellos en Navarro, 1998) han publicado tablas estadísticas que recogen datos relativos a la masa, centros de gravedad y momentos de inercia de los diferentes segmentos del cuerpo. Uno de los modelos mecánicos más empleados en la biomecánica deportiva es el modelo de Clauser desarrollado en 1969 (Navarro, 1998). Este autor configura el cuerpo humano a partir de un modelo compuesto por 21 puntos anatómico-articulares que determinan 14 segmentos corporales (Figura 2.2).

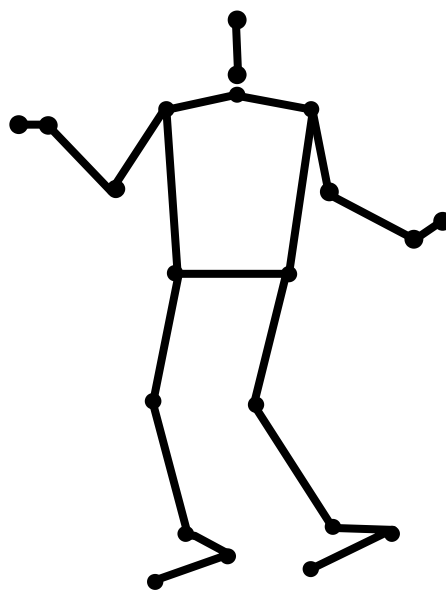


Figura 2.2 Modelo de 21 puntos de Clauser.

El presente trabajo de investigación está orientado hacia la obtención de las variables cinemáticas que contribuyen a describir los desplazamientos realizados por los árbitros y árbitros asistentes durante los partidos de fútbol. El estudio de las características espaciales de los sujetos se puede realizar a través de las posiciones (según las coordenadas) y los movimientos (trayectorias) obtenidos durante el análisis (Donstoi & Zatsiorski, 1988).

Para poder alcanzar los objetivos de la investigación actual el análisis de los movimientos debe restringirse al plano horizontal, desechándose la consideración de los movimientos realizados sobre el plano vertical al no propiciar una información relevante de cara al estudio de la actividad realizada por los jueces. Este matiz conceptual tiene una gran importancia para definir el marco de la investigación puesto que en vez de realizar un análisis tridimensional del juego se opta por desarrollar un análisis en dos dimensiones con lo cual la posición de los jueces en el espacio queda definida por las coordenadas (x , y) de un punto en cada instante de tiempo. A partir de la obtención de las coordenadas se puede estudiar el movimiento lineal de los deportistas, es decir, la traslación del cuerpo por el terreno de juego.

La posición en cada instante de tiempo queda reflejada por la determinación del centro de gravedad del sujeto y para ello se requiere la utilización de un modelo del cuerpo, como podría ser el de Clauser (1969). Las características peculiares de la presente técnica experimental imposibilitan el empleo de dicho modelo puesto que, por la resolución final de la imagen (teniendo en cuenta que la superficie filmada abarca una tercera parte de un campo de fútbol, unos 70x35 m) no se podrían definir con exactitud la posición de los puntos anatómicos-articulares propios del modelo.

Es por ello que resulta necesario desarrollar un modelo cinemático específico del cuerpo para la investigación. Con este fin, tras el pertinente análisis de los estudios que han utilizado técnicas experimentales similares a la presente (Franks & Goodman, 1986; Riera, 1986; Aguado & Lloveras, 1987; Van Gool *et al.*, 1988; Aguado & Riera, 1989; Riera & Aguado, 1989; Aguado, 1991; Molina, 1992; Erdmann, 1993) y la realización de diversos estudios pilotos, se optó por el empleo de un modelo de un punto que representa la proyección vertical del centro de gravedad sobre el terreno de juego de juego (Figura 2.3).

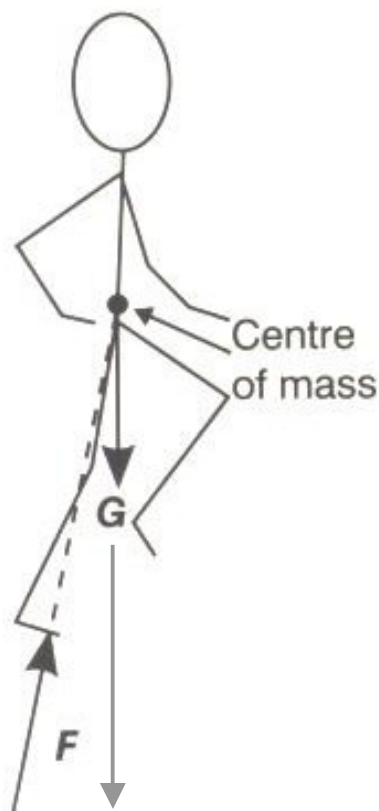


Figura 2.3 Proyección vertical del centro de masas (G) de un deportista sobre el suelo. (Figura tomada de Bartlett, 1997).

2.1.2.2 Modelo mecánico del movimiento

Para poder obtener un máximo rendimiento en una disciplina deportiva el deportista debe ser capaz de producir una serie de respuestas motrices que den solución a los problemas que se le plantean durante la competición. Este conjunto de respuestas motrices se suele denominar como técnica deportiva y son específicas para cada especialidad.

El estudio de la técnica deportiva puede abordarse desde diversas aproximaciones como la realización de un análisis de tipo cuantitativo, semi-cuantitativo o cualitativo aunque según Barlett (1999) resulta complejo concretar con exactitud los límites exactos de cada uno de los tres tipos de análisis.

El análisis cuantitativo requiere de medios complejos para llevar a cabo el estudio de manera que para poder obtener los parámetros cinemáticos del cuerpo resulta necesario la filmación del gesto de referencia y un sistema de calibración de dimensiones conocidas para digitalizar más adelante los fotogramas obtenidos. Hoy en día existen sistemas de reconocimiento automático de la imagen en tiempo real (Liebermann & Franks, 2004) como los comercializados por las empresas Charnwood Dynamics Included (www.charndyn.com), Motion Analysis Corporation (www.motionanalysis.com), Optotrack – Northern Digital Limited (www.northendigital.ca), ProReflex y QTM – Qualisys Limited (www.qualisys.com) o Vicon – Oxford Metrics (www.vicon.com) que agilizan estos procedimientos.

En el caso del análisis cualitativo la técnica experimental habitualmente empleada para la obtención de la información es el vídeo (Liebermann & Franks, 2004). La posterior combinación de este medio audiovisual con la televisión y el ordenador

permite ralentizar y editar las imágenes para poder realizar comparaciones entre distintas ejecuciones técnicas.

Hay & Reid (1982) aportan unas indicaciones metodológicas muy importantes de cara a intentar analizar cualitativamente la ejecución de un gesto técnico realizado por un deportista a partir de la construcción de un modelo de análisis de tipo teórico. El punto de partida para el desarrollo del modelo es determinar cuál es el criterio de eficacia de la acción motriz, es decir, identificar y definir, qué resultado se pretende obtener. Así, por ejemplo, en el salto de longitud el criterio de eficacia sería lograr una mayor distancia en el salto mientras que en una carrera de velocidad el criterio de eficacia sería el empleo del menor tiempo posible en recorrer la distancia.

Posteriormente resulta necesario dividir el resultado en las fases del movimiento que conforman la prueba o los componentes del criterio de eficacia. De este modo una prueba de 100 m de natación podría dividirse en el tiempo de salida, el tiempo de nado, el tiempo de viraje y el tiempo de llegada (García *et al.*, 2001). A su vez sobre cada una de estas fases sería necesario señalar los factores que afectan a los resultados.

Se trata, en definitiva, de desarrollar un diagrama conceptual que explique el rendimiento en una especialidad deportiva. El resultado final de la prueba queda descompuesto en una suma de resultados parciales a partir de las variables que se antojan fundamentales en el movimiento. Los factores de rendimiento quedan jerarquizados y se facilita el desarrollo de un sistema de entrenamiento óptimo para la prueba o para la mejora de la técnica, según los objetivos pretendidos.

Bartlett (1999) resume las etapas del análisis teórico en:

- (a) Identificar el criterio de rendimiento (eficacia).
- (b) Dividir el criterio de rendimiento en los factores que lo forman.
- (c) Identificar los parámetros de rendimiento.

El criterio de eficacia dentro del arbitraje debería ser aplicar el reglamento durante los partidos de una manera objetiva. A la hora de jerarquizar los factores que llevan a conseguir este resultado se obtienen una serie de variables que son muy difíciles de concretar como el conocimiento del reglamento, la aplicación del mismo durante el juego, la capacidad para soportar situaciones de presión psicológica por parte del público, medios de comunicación o jugadores, etc. Muchas de estas variables no son tangibles con lo cual el estudio de las mismas dentro de una situación competitiva de alto nivel resulta prácticamente imposible de llevar a cabo.

En cualquier caso existen otras serie de variables que sí pueden ser objeto de estudio y la profundización en el conocimiento de las mismas podría llevar a una mejora en la rendimiento de los árbitros y árbitros asistentes en el juego. Partiendo de esta noción el presente trabajo de investigación se concibió como un intento por proporcionar un asesoramiento científico a la Comisión de Arbitraje de la FIFA mediante la suministración de información objetiva sobre el rendimiento físico de los árbitros durante los partidos. Aplicando el razonamiento de Hay & Reid (1982) las directrices de esta intervención se podrían representar de una manera esquemática tal y como se muestra en la Figura 2.4 de la página siguiente.

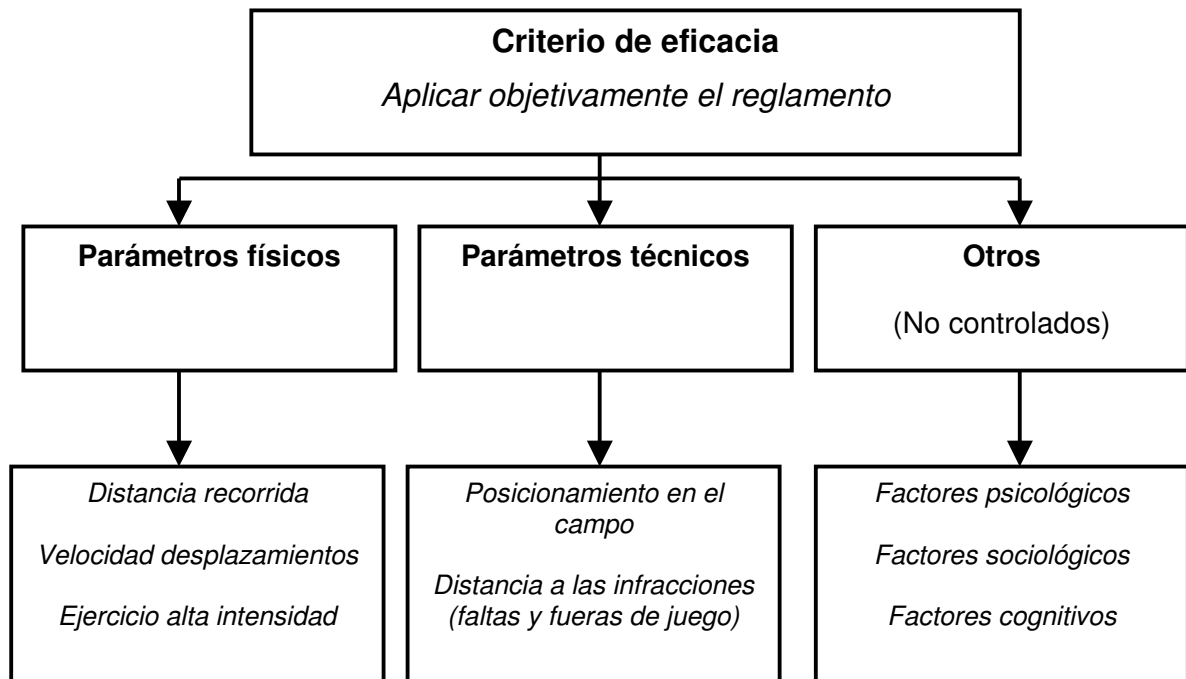


Figura 2.4 Esquema conceptual del rendimiento físico en el arbitraje.

El análisis de estas variables, relacionadas con aspectos físicos y técnicos y que pueden ser medidas sin interferir en la actividad desarrollada por los árbitros y los árbitros asistentes, se puede realizar a lo largo de los 90 min de duración de un partido del fútbol. Para ello resulta necesario dividir los encuentros divididos en intervalos de 45, 15 y 5 min para poder analizar así la evolución del comportamiento de cada variable a lo largo del tiempo.

La primera de las variables que se propone estudiar es el desplazamiento realizado por los jueces a lo largo de los partidos. Cuando un árbitro (analizado por el modelo de un punto) se mueve por el campo de fútbol su movimiento describe una trayectoria que resulta ser el lugar geométrico de las sucesivas posiciones que el punto (en este caso un deportista) va ocupando en el espacio a lo largo de un intervalo de tiempo conocido (Tipler, 1994) (Figura 2.5).

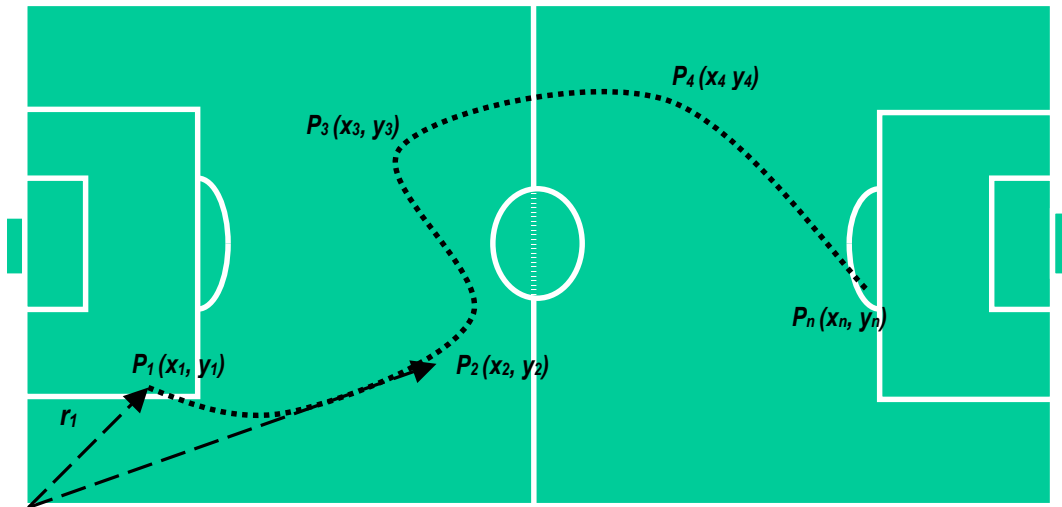


Figura 2.5 Trayectoria descrita por un árbitro durante sus movimientos en un partido.

Según la figura anterior, al desplazarse por el terreno de juego la trayectoria del deportista queda definida por una serie de puntos ($P_1, P_2, P_3 \dots P_n$) en relación a un sistema de referencia. La posición de cada uno de los puntos vendrá dada por un vector de posición ($r_1, r_2, r_3 \dots r_n$) cuyas coordenadas sobre el plano (x, y) pueden determinarse.

El movimiento de un punto en el espacio se puede estudiar según la dependencia temporal del vector de posición o, lo que es lo mismo, analizando la variación de las coordenadas (x, y) con el tiempo. El espacio recorrido por un deportista durante su desplazamiento por el campo de fútbol será igual a la suma de las longitudes de todos los tramos recorridos por el punto que lo define en el intervalo de tiempo considerado. La distancia entre dos puntos queda definida por el vector desplazamiento Δr , cuyo origen es la posición del punto en el instante inicial (t) y cuyo extremo es la posición del punto en el instante final ($t + \Delta t$)

$$\Delta r = r(t + \Delta t) - r(t)$$

El conocimiento de la distancia recorrida por los árbitros durante los partidos parece ser un parámetro particularmente útil (Bangsbo, 1994b) ya que, a diferencia de los futbolistas, no experimentan contacto físico durante el juego ni realizan otras actividades (como las entradas, los golpes de cabeza, los pases, levantarse del suelo, etc.) que pueden influir en esta variable. Esta distancia total recorrida está estrechamente relacionada con el gasto energético que supone la actividad (Reilly, 1990) de manera que puede emplearse como un indicador indirecto del trabajo mecánico realizado.

Además de por la distancia total los desplazamientos que realizan los jueces pueden caracterizarse por la velocidad de los mismos. La velocidad instantánea de un punto viene definida por la variación del espacio recorrido en función del tiempo empleado cuando variación del tiempo se aproxima al valor cero (Tipler, 1994) y representa la rapidez con que cambia el vector de posición respecto al tiempo.

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$$

Para poder llevar a cabo la categorización de los desplazamientos en función de su velocidad instantánea, resulta necesario establecer unos intervalos de velocidades que los delimiten. Tomando como referencia las publicaciones existentes en la bibliografía internacional (D'Ottavio & Castagna, 2001a; Krustup & Bangsbo, 2001) que han realizado análisis cinemáticos de la actividad de los árbitros de fútbol las categorías de desplazamientos establecidas en la presente investigación fueron las siguientes:

- (a) **Estar parado:** Incluye todos los movimientos con velocidades lineales inferiores o iguales a 1 m/s (3,6 km/h).
- (b) **Andar:** Los desplazamientos con velocidades entre 1,01 y 2 m/s (3,61-7,2 km/h).
- (c) **Trotar:** Incluye los movimientos realizados a velocidades superiores a 2,01 m/s e inferiores o iguales a 3,6 m/s (7,21-13 km/h).
- (d) **Correr:** Abarca todos los desplazamientos con velocidades entre 3,61 y 5 m/s (13,01-18 km/h).
- (e) **Sprintar:** Desplazamientos cuya velocidad supera los 5,01 m/s (más de 18 km/h).

Una de las diferencias más importantes entre el fútbol de élite y el de menor nivel es la cantidad de ejercicio realizado a una alta intensidad por los futbolistas (Mohr *et al.*, 2003). Es por ello que esta pueda ser una de las variables que mejor ayuden a caracterizar el rendimiento de los árbitros (Krustrup & Bangsbo, 2001). Para alcanzar los objetivos de la presente investigación se consideró como “Ejercicio de alta intensidad” al cómputo de distancia recorrida y tiempo empleado a velocidades superiores a 3,61 m/s (13,01 km/h).

Además de la categorización de los desplazamientos según su velocidad lineal los desplazamientos pueden clasificarse también en función del sentido de la locomoción utilizada por los jueces. Puesto que el árbitro debe adoptar siempre una posición tal que la permita ver el desarrollo del juego resulta necesario considerar los movimientos realizados en forma de carrera de frente y de espalda mientras que en el caso de los árbitros asistentes es conveniente discernir entre los desplazamientos realizados de forma frontal de aquellos laterales, puesto que su

ubicación en el campo les exige estar casi siempre con una perspectiva perpendicular al desarrollo del juego.

En el intento por completar el estudio del rendimiento físico de los árbitros se analizó otra variable obtenida por métodos cinemáticos pero relacionada con el componente técnico de los jueces como es la distancia a las infracciones. Entre las principales recomendaciones que realiza la FIFA a los árbitros y árbitros asistentes está la de seguir el juego de cerca para así poder tener una mejor visión de la jugada y poder decidir correctamente a la hora de aplicar las reglas del juego.

La distancia a las infracciones representa un análisis de las posiciones en las que se encuentra el árbitro a la hora de señalar los incidentes en relación al lugar en el que se cometen. Todas las infracciones señaladas durante el juego -faltas- fueron clasificadas atendiendo a dos criterios: el momento (tiempo) y la zona (espacio) en las cuales ocurrían.

En relación al tiempo las faltas se agruparon en intervalos de 15 min a lo largo de los dos períodos de juego (minutos 0 a 15, 16 a 30, 31 a 45, 46 a 60, 61 a 75 y 76 a 90).

En relación al espacio se utilizó como referencia la división del campo en zonas utilizada por Krustup & Bangsbo (2001). Estos autores dividieron el campo de fútbol en dos zonas: una central definida transversalmente 20 m a cada lado de la línea divisoria de ambos terrenos y una atacante que abarca el resto del terreno de juego (Figura 2.6).

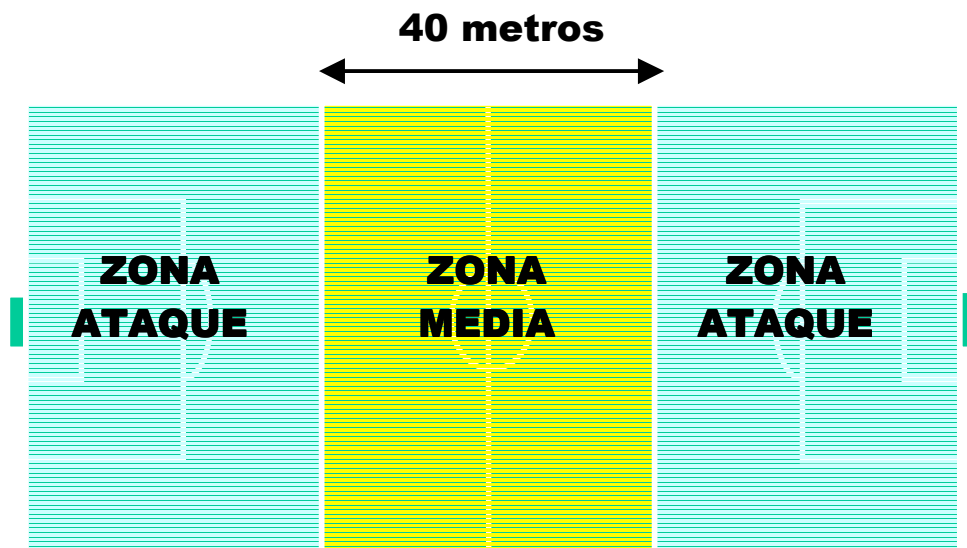


Figura 2.6 Modelo de análisis del lugar de las infracciones de Krustup & Bangsbo (2001).

Partiendo de esta división se trazó una línea imaginaria transversal al terreno de juego de manera que las dos zonas anteriores quedaron a su vez divididas en cuatro: ataque izquierda, ataque derecha, central izquierda y central derecha tal y como se puede apreciar en la Figura 2.7 de la página siguiente.

La justificación metodológica de esta división en zonas del terreno de juego reside en la acción de los árbitros asistentes, que corren siempre en el medio campo de ataque de cada equipo, lo que hace que su área de influencia sea mayor en estas zonas del campo de ahí que los desplazamientos del árbitro se realicen siempre en forma de carrera diagonal, con mayor presencia en las zonas en las que no hay árbitro asistente (Figura 2.8).

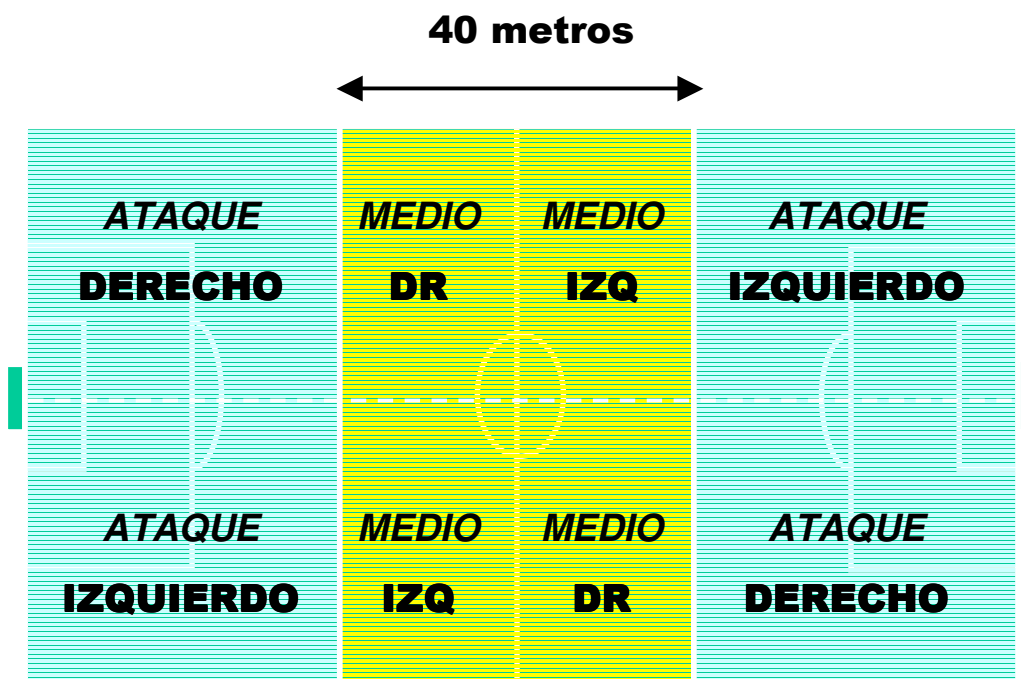


Figura 2.7 Modelo de análisis para clasificar el lugar en el cual ocurrían las infracciones.

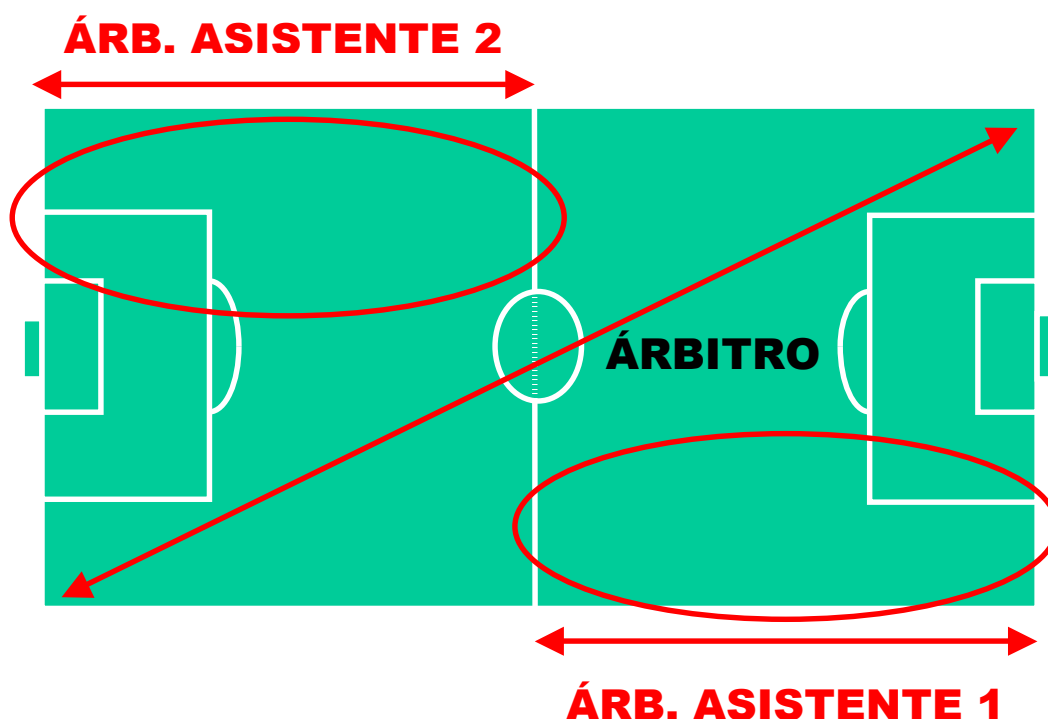


Figura 2.8 Áreas de influencia de cada árbitro asistente en el terreno de juego.

En el caso de los árbitros asistentes las infracciones analizadas fueron los fueros de juego. Para ello se tomó como criterio de posicionamiento correcto por parte del árbitro asistente el estar situado a la altura de la línea perpendicular que determina el penúltimo jugador del equipo defensor, tal como recomienda la Comisión de Arbitraje de la FIFA. Esta línea teórica se denomina “línea del fuera de juego”.

La Tabla 2.1 recoge a modo de resumen las variables cinemáticas objeto de estudio durante el presente trabajo de investigación.

Tabla 2.1 Resumen de las variables cinemáticas objeto de estudio en la investigación.

Variables dependientes	Variables independientes
<i>Distancia total recorrida</i>	- 90 min - Cada 45 min - Cada 15 min - Cada 5 min
<i>Desplazamientos por categorías (según la velocidad instantánea)</i>	- 90 min - Cada 45 min
<i>Ejercicio de alta intensidad</i>	- 90 min - Cada 45 min - Cada 15 min - Cada 5 min
<i>Sentido de los desplazamientos</i>	- De frente y de espalda (árbitros) - De frente y lateral (árbitros asistentes)
<i>Distancias a las infracciones (faltas y fueros de juego)</i>	- 90 min - Cada 45 min - Cada 15 min - Por zonas - Por tiempo y por zonas

2.1.3 Técnicas de adquisición de los datos

2.1.3.1 Fotogrametría 2D

Tal y como se indicó en el apartado anterior en el estudio del movimiento humano se pueden establecer, al menos, dos métodos de análisis: el cualitativo y el cuantitativo (Hay & Reid, 1982). La aproximación cualitativa al estudio de la técnica se fundamenta en la realización de evaluaciones subjetivas del rendimiento a partir de observaciones directas y visuales. Este tipo de metodología es característica de los entrenadores y profesores de educación física que, debido a la carencia de medios materiales y de tiempo, deben corregir a los deportistas a partir de las impresiones que la ejecución técnica les ha dejado y su comparación con los patrones técnicos que manejan por su experiencia en el deporte o en la enseñanza.

Los métodos cuantitativos de análisis del movimiento humano se amparan en el empleo de una muy rigurosa metodología de manera que los datos obtenidos responden a evaluaciones objetivas del rendimiento. Este tipo de estudios son más característicos del entrenamiento de los deportistas de alto nivel o de las investigaciones científicas ya que generalmente utilizan técnicas instrumentales cuya accesibilidad se halla más limitada.

Las características de la presente investigación exigen el empleo de una metodología cuantitativa. En el ámbito de la biomecánica deportiva este tipo de aproximación suele llevar consigo la necesidad de digitalizar largas secuencias de puntos para poder obtener posteriormente las variables lineales en función del tiempo (Bartlett, 1997).

Los sistemas fotogramétricos permiten el estudio de la forma y el movimiento de los cuerpos a partir de las imágenes obtenidas del mismo. Estas imágenes pueden ser adquiridas con diversas técnicas instrumentales como la fotografía, el vídeo, los rayos X, la resonancia magnética nuclear, la tomografía axial computerizada o los ultrasonidos (Navarro, 2004).

La fotogrametría en tres dimensiones es la técnica experimental más importante utilizada en la biomecánica deportiva. Permite obtener la posición (coordenadas x , y , z) de puntos del cuerpo a partir de las coordenadas en dos dimensiones del punto proyectadas en dos o más planos (imágenes). El procedimiento se fundamenta en la relación existente entre las coordenadas espaciales reales de un punto (x , y , z) y las coordenadas planas de ese mismo punto (u , v) proyectadas en la imagen (obtenidas por cine o vídeo) según el algoritmo DLT – “Direct Lineal Transformation” (Transformación lineal directa)- (Abdel-Aziz & Karara, 1971).

Aunque existen otras ecuaciones para expresar la relación existente entre las coordenadas espaciales de un punto y las planas proyectadas en la imagen, en el ámbito de la biomecánica deportiva se suele optar emplear el procedimiento de Abdel-Aziz & Karara (1971) por la sencillez del protocolo experimental requerido para la adquisición de los datos (Navarro, 2004) y por la elevada exactitud en los resultados obtenidos que pueden estar en torno al milímetro (Challis & Kerwin, 1992).

Para poder llevar a cabo la DLT se requiere la filmación del movimiento con al menos dos cámaras (Figura 2.9). Las cámaras deben estar separadas entre sí con una angulación de 90-110° para poder ver en la imagen la totalidad de puntos del

cuerpo a analizar (según el modelo mecánico de cuerpo seleccionado de antemano).

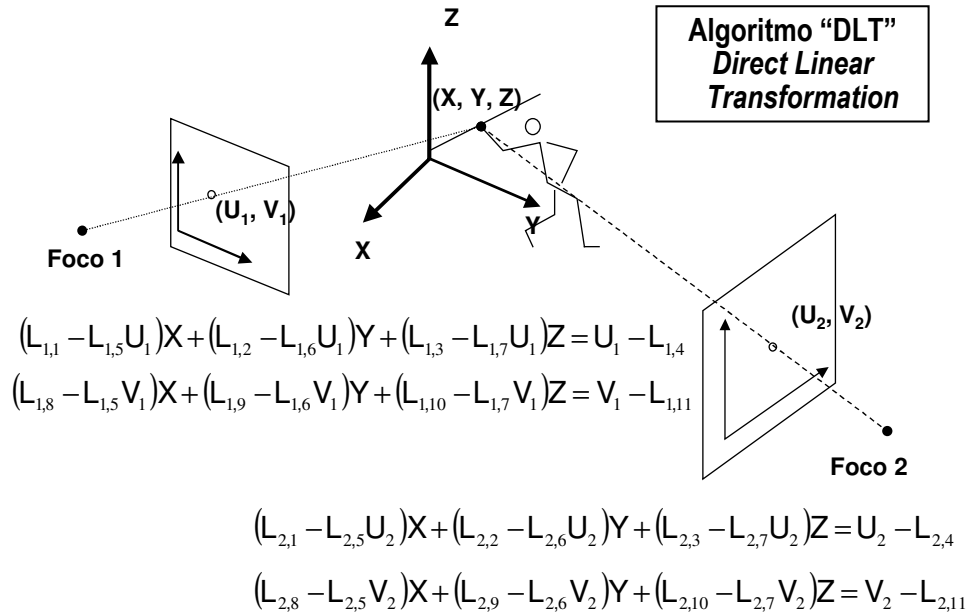


Figura 2.9 Cálculo de las coordenadas 3D de puntos a partir de las coordenadas proyectadas en dos o más cámaras. (Figura tomada de Navarro, 2004).

La relación existente entre las coordenadas reales de un punto en el espacio (x , y , z) y las coordenadas de ese mismo punto proyectadas en el plano (u , v) se puede determinar por medio del siguiente sistema de ecuaciones (Abdel-Aziz & Karara, 1971):

$$u = \frac{L_1X + L_2Y + L_3Z + L_4}{L_5X + L_6Y + L_7Z + 1}$$

$$v = \frac{L_8X + L_9Y + L_{10}Z + L_{11}}{L_5X + L_6Y + L_7Z + 1}$$

en el que:

- X, Y, Z son las coordenadas espaciales del punto y las incógnitas del sistema de ecuaciones
- u, v son las coordenadas del punto en el plano
- $L_1 \dots L_{11}$ son coeficientes que se denominan parámetros de la DLT y su función es la de cuantificar el sistema de proyección (Navarro, 2004).

En este sistema matemático existen por lo tanto dos ecuaciones y tres incógnitas a determinar (X, Y, Z) conociéndose el valor de las coordenadas proyectadas (u, v) y de los parámetros de la proyección ($L_1 \dots L_{11}$).

Para poder resolver el sistema se requiere disponer de, al menos, dos proyecciones del punto en dos planos distintos (imágenes obtenidas desde cámaras diferentes). De este modo es posible obtener $2p$ ecuaciones siendo p el número de planos en los cuales se proyecta el punto cuyas coordenadas deben determinarse. La solución matemática de este sistema de ecuaciones (en el que existe un mayor número de ecuaciones que de incógnitas) puede realizarse mediante el método de ajuste por mínimos cuadrados (Navarro, 2004).

Los parámetros de la DLT se determinan a partir de la calibración del espacio. El método habitualmente empleado para lograr este fin es mediante la utilización de un objeto cuyas dimensiones exactas se conocen de antemano. Este objeto de calibración debe ser filmado por cada una de las cámaras y del mismo se deben determinar al menos las coordenadas de seis puntos, para poder resolver el sistema de ecuaciones de la DLT. En los proyectos de investigación desarrollados por el Laboratorio de Biomecánica Deportiva de la Facultad de Ciencias de la

Actividad Física y el Deporte (INEF) de Madrid, el objeto de calibración que se suele emplear es un cubo de 2x2x2 m (Figura 2.10) en el cual se determina la posición de ocho puntos cuyas dimensiones reales son conocidas.



Figura 2.10 Colocación de un cubo de 2x2x2 m como objeto de calibración en una filmación para el análisis de la técnica en el fútbol (Navarro & Mallo, 2001).

La técnica instrumental empleada en el presente trabajo de investigación se denomina fotogrametría en dos dimensiones y está fundamentada en la técnica anteriormente descrita. La utilización de esta metodología permite conocer la posición de un punto en el plano a partir de las imágenes de vídeo. Como la posición de un punto en el plano queda definida por dos coordenadas (x , y) al tratarse de un sistema bidimensional una única cámara de vídeo resulta suficiente para llevar a cabo el registro de los datos.

A partir de la utilización de un sistema de referencia de conocidas dimensiones que sirve para realizar la calibración del espacio se pueden determinar las coordenadas planas reales de un punto (x, y) que esté dentro de él, ya que éstas están relacionadas con las coordenadas planas de ese punto proyectadas en la imagen (u, v) aplicando algoritmos basados en la DLT (Abdel-Aziz & Karara, 1971).

El empleo de la técnica instrumental de la fotogrametría en dos dimensiones puede tener dos grandes aplicaciones en el campo de la biomecánica deportiva. Por un lado puede utilizarse para realizar estudios descriptivos de la técnica deportiva (más rápidos pero menos precisos que utilizando la fotogrametría en tres dimensiones) y, por otro lado, puede emplearse para realizar análisis de variables cinemáticas.

Esta última aplicación es la que caracteriza al presente estudio. En él se analiza cinemáticamente la actividad de los árbitros y árbitros asistentes durante los partidos de fútbol. Para ello cada árbitro se analiza mediante un modelo de un punto (que representa la proyección del centro de masas sobre el terreno de juego) y se estudia la variación de su posición en el plano a lo largo del tiempo para así poder conocer la distancia recorrida y la velocidad lineal de los desplazamientos.

La determinación de la posición de un punto en el plano o en el espacio se puede realizar por métodos automáticos o manuales. La digitalización automática de un punto se realiza por técnicas de reconocimiento de la imagen. Cuando de lo que se trata es de seguir la posición de un punto a lo largo de una secuencia de tiempo la complejidad del procedimiento se multiplica puesto que al desarrollarse el deporte del fútbol sobre un espacio común son frecuentes los agrupamientos de jugadores, con lo cual el sistema de reconocimiento de la imagen requiere de ayuda externa que le auxilie para solventar estas situaciones de conflicto.

Sistemas basados en el reconocimiento automático de la posición de los deportistas como el sistema Amisco, comercializado por la empresa Sport Universal, o el sistema Pro-Zone, de la empresa del mismo nombre implantada en Gran Bretaña, están siendo utilizados por los principales clubes europeos y abren un enorme campo a la investigación en esta materia. El elevado coste de este tipo de equipamientos y la falta de datos que avalen su validez y fiabilidad en la actualidad dificulta el acceso al mismo desde una perspectiva científica, de ahí que en el presente estudio se haya empleado un sistema de digitalización manual.

El Laboratorio de Biomecánica Deportiva de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte (INEF) de Madrid dispone de un sistema de medida propio (software y hardware) de fotogrametría 2D vídeo que posibilita la realización de este tipo de investigaciones para el estudio de los deportes de equipo. Este sistema permite el estudio de los desplazamientos realizados por los deportistas en los juegos colectivos y se ha ido desarrollando y optimizando durante los últimos años.

En la primera fase de este proceso el estudio se realizaba sobre deportes que se desarrollaban en espacios cerrados. Así, a partir de una filmación con una cámara fija cenital situada en el centro de un pabellón, se pudieron analizar los parámetros cinemáticos característicos de los desplazamientos de los jugadores de voleibol (Mallo, 2001). Debido a que en cada fotograma que formaba parte de la película se podía observar la totalidad de la pista (Figura 2.11) las líneas pintadas sobre la misma, de conocidas dimensiones, servían como objeto de calibración de las imágenes.

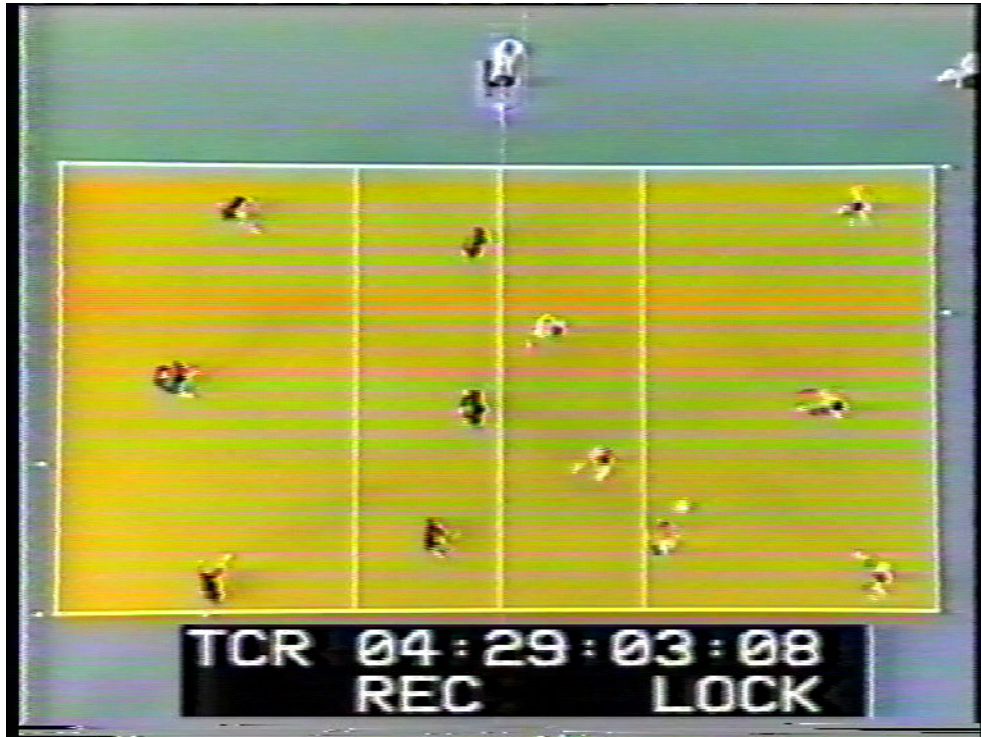


Figura 2.11 Filmación de un partido de voleibol con una única cámara cenital situada en el centro del pabellón.

En los deportes cuya práctica se desarrolla sobre una superficie de juego más grande resulta complicado abarcar con una única cámara la totalidad del terreno de juego. Franks & Goodman (1986) y Van Gool *et al.* (1988) emplearon técnicas fotogramétricas para analizar la distancia recorrida por los futbolistas a partir de la utilización de una única cámara situada en el tejado de un edificio colindante.

Con una disposición del equipamiento muy similar, en la presente investigación se analizó la posibilidad de utilizar una única cámara para realizar el registro de los datos (Figura 2.12) aunque los problemas derivados de la poca resolución y claridad de la imagen lo desaconsejó.



Figura 2.12 Filmación de un partido de fútbol utilizando una única cámara que abarcaba la totalidad del terreno de juego.

La aplicación de la fotogrametría 2D al deporte del fútbol requiere la utilización de más de una cámara de vídeo. Para ello en diversos estudios pilotos llevados a cabo se planteó la filmación de un partido de competición oficial de fútbol mediante grabaciones con una cámara fija situada en una tribuna lateral del campo (Figura 2.13). La calibración del espacio se realizaba antes del inicio del partido utilizando referencias sobre el terreno de juego cuyas dimensiones reales se determinaban con una cinta métrica.

En estos estudios (Mallo, 2001; Navarro & Mallo, 2001; Mallo *et al.*, 2002) se pudo estimar la distancia recorrida por futbolistas que ocupaban distintos puestos específicos en un equipo de fútbol de la categoría Segunda División “B” española.



Figura 2.13 Filmación de un partido de fútbol utilizando una cámara situada en una grada lateral del campo.

El empleo de la presente técnica experimental se ha demostrado también efectiva para el análisis de situaciones jugadas en los entrenamientos (Mallo & Navarro, 2004). Debido a que en estos trabajos el terreno de juego en el que se desarrollaba la acción tenía unas dimensiones de 33x20 m (Figura 2.14), una cámara situada en una grada lateral permitía filmar la totalidad del juego.

En estos trabajos se analizó la distinta respuesta motriz de los futbolistas en tres ejercicios distintos de entrenamiento: mantenimiento de balón tres contra tres, mantenimiento de balón tres contra tres con dos jugadores que actuaban como “comodines” y se situaban por fuera del rectángulo y partido reducido tres contra tres con porteros y porterías grandes. Además estas investigaciones se complementaron con el registro de la frecuencia cardiaca durante el juego y con la cuantificación de las acciones técnicas realizadas.

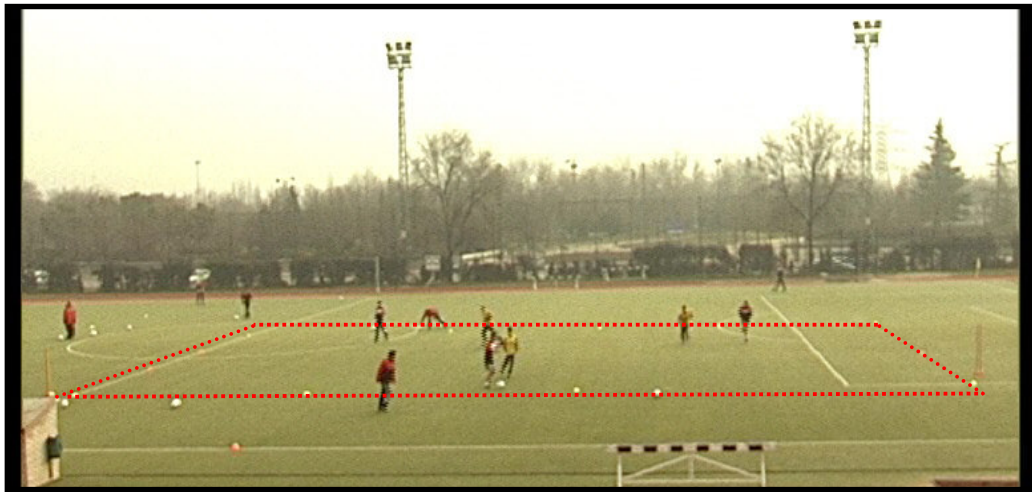


Figura 2.14 Filmación de un ejercicio de entrenamiento realizado por futbolistas (Mallo & Navarro, 2004).

La realización de todos estos trabajos de investigación previos ha permitido ir optimizando el sistema de fotogrametría 2D vídeo disponible en el Laboratorio de Biomecánica Deportiva de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte (INEF) de Madrid de cara a su utilización para el análisis de las demandas del juego en el fútbol (Mallo *et al.*, 2005) y ha sido aplicada con distintos objetivos (Mallo *et al.*, 2004a,b,c).

2.1.3.2 Registro de los datos

Ubicación y preparación de las cámaras

Uno de los hechos históricos que favoreció en mayor medida el desarrollo de la biomecánica deportiva fue el descubrimiento de la fotografía (Dal Monte, 1983, en Aguado *et al.*, 1997). Aunque no existe un criterio común de la fecha exacta de tal descubrimiento, que de un modo aproximado se puede cifrar en torno al año 1830,

lo verdaderamente importante del mismo es la posibilidad que la fotografía ofrecía para analizar el movimiento humano.

Muybridge, para estudiar si la técnica del galope de los caballos incluía una fase en la que ninguna de las cuatro patas tenía apoyo en el suelo, fue el primero en obtener una fotografía seriada en el año 1872 gracias a un sistema de 24 cámaras fotográficas que se activaban de una manera secuencial. Un año más tarde Marey (en Nigg *et al.*, 2000) empleó un sistema similar para estudiar el movimiento humano.

Basado en las técnicas de fotografía seriada anteriormente expuestas los hermanos Lumière presentaron en el año 1895 en París una escenas filmadas que supusieron el origen del cine. El desarrollo de las técnicas cinematográficas tuvieron una incidencia fundamental en la biomecánica deportiva permitiendo generar una secuencia de fotografías en un intervalo de tiempo conocido a partir de cuyo análisis se podían obtener los parámetros cinemáticos del movimiento.

A pesar de su gran resolución en las imágenes a día de hoy las cámaras de cine se han sustituido por cámaras de vídeo para el análisis biomecánico. Las principales razones de este cambio tecnológico han sido que las cámaras de vídeo, además de ser más baratas, facilitan la obtención de resultados en un tiempo más inmediato. Adicionalmente, su funcionamiento resulta más sencillo que el de las cámaras de cine (Bartlett, 1997).

La fotogrametría en dos dimensiones exige el respeto de una serie de consideraciones metodológicas antes de llevar a cabo el registro de los datos. En primer lugar resulta necesario ubicar las cámaras en un lugar adecuado, de manera

que se consiga filmar en la imagen la totalidad del terreno de juego. Debido a las grandes dimensiones de un campo de fútbol (aproximadamente 105x68 m) y basándonos en los estudios pilotos anteriormente realizados, para una filmación de este tipo se requiere la utilización de, como mínimo, dos o tres cámaras de vídeo para poder visualizar toda la superficie de juego (Mallo *et al.*, 2005).

Es por ello que para el registro de datos en la investigación actual se emplearon tres cámaras de vídeo. Dos de las cámaras tenían formato mini DV, siendo el modelo JVC GY-DV500E (Japan Victor Company, Japón) y la tercera cámara, de formato Súper VHS, era el modelo PANASONIC DP-800 H (Matsushita Electric Industrial Co., Japón). Todas las cámaras estaban equipadas con trípodes MANFROTTO 116Mk3 (Manfrotto Bassano, Italia) de altura regulable para asegurar la buena fijación y sustentación de las mismas.

De manera teórica la distribución de las cámaras debe realizarse de forma longitudinal a lo largo del campo de fútbol (Figura 2.15) de modo que en cada cámara se recojan una serie de puntos comunes con la cámara adyacente. Estos puntos comunes formarán parte del sistema de calibración y sus dimensiones reales deben ser conocidas.

Otro requisito adicional en la ubicación del equipamiento que exige la presente técnica experimental es que las cámaras deben colocarse sobre un lugar elevado como podría ser una plataforma o la parte superior de una grada de un estadio, para intentar obtener una vista cenital del terreno.

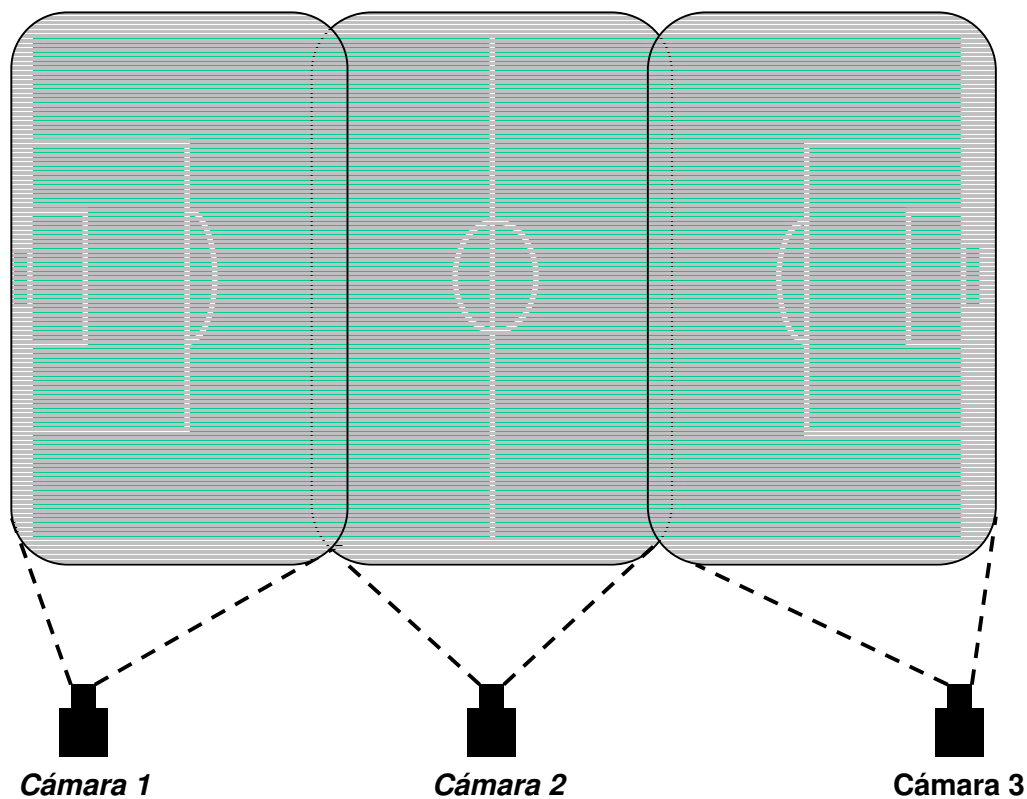


Figura 2.15 Esquema teórico de la distribución del equipamiento.

Para definir con exactitud el lugar de colocación de las cámaras resulta necesario prepararlas adecuadamente. Debido a las características espaciales de la filmación uno de los principales aspectos a considerar es su enfoque. Enfocar la imagen representa ajustar el objetivo para poder obtener una imagen nítida. Las cámaras de vídeo utilizadas en este trabajo experimental presentaban la opción de realizar un enfoque manual o automático aunque, para evitar el movimiento del mismo durante la filmación, se utilizó un enfoque manual. Como el campo de filmación era muy profundo se optó por un enfoque largo para intentar abarcar aproximadamente una tercera parte del terreno de juego en la imagen de cada una de las cámaras.

Una vez determinado el enfoque de las cámaras se procedió a su ajuste. Uno de los ajustes necesarios es la selección del tiempo de obturación de la cámara. El

obturador controla el tiempo que la luz que incide sobre la película, es decir, el tiempo que el objetivo está abierto. Los avances tecnológicos han llevado a que las vídeo cámaras de última generación estén equipadas con obturadores electrónicos, sensores que ajustan el tiempo de exposición del fotograma a la luz. Bartlett (1997) resalta los beneficios de las vídeo-cámaras con este tipo de obturadores en las investigaciones al asegurar la obtención de imágenes de buena calidad, mejorando el “congelado” de las mismas cuando se requiere analizar las películas fotograma a fotograma. En la filmación actual el tiempo de obturación establecido fue de 1/250 o 1/500 segundos según las condiciones luminosas de cada día.

También resulta necesario realizar el ajuste del diafragma o iris, es decir, controlar la cantidad de luz que incide sobre la cámara. Como la investigación se desarrollaba en una situación al aire libre donde la luz era cambiante a lo largo de la grabación, se hizo necesario la utilización del sistema de ajuste automático de la apertura del diafragma de la propia vídeo-cámara.

Una vez que la ubicación y el ajuste de las cámaras se ha completado éstas no deben moverse a lo largo de todo el proceso de filmación. Este aspecto resulta un requisito de imprescindible cumplimiento para poder llevar a cabo la presente técnica experimental. Las Figuras 2.16 y 2.17 ilustran distintas ubicaciones de las cámaras en los estadios de Helsinki y Lahti, respectivamente, durante la fase de registro de datos de la investigación.



Figura 2.16 Colocación de las cámaras en el Estadio de Helsinki.



Figura 2.17 Colocación de las cámaras en el Estadio de Lahti.

Filmación del sistema de calibración

El sistema de calibración se utiliza para poder obtener las coordenadas reales de los puntos contenidos en su interior. La fotogrametría en dos dimensiones exige la utilización de un sistema de calibración para cada una de las cámaras empleadas para el registro del movimiento. El sistema de calibración está formado por un mínimo de cuatro puntos de coordenadas conocidas, debiendo estar todos los puntos visibles en la cámara con la cual ha sido filmado.

Una vez ubicadas y preparadas las cámaras se procede a filmar el sistema de calibración. Para ello se utilizan marcadores que se colocan sobre el propio terreno de juego y que marcan los límites del campo de filmación de cada cámara. Estos marcadores se graban antes del inicio de la competición deportiva para no interferir en el desarrollo de la misma y se retiran una vez registrados. Resulta suficiente con filmar el sistema de calibración durante una breve secuencia de tiempo puesto que los marcadores permanecen fijos durante toda ella.

La posición de los marcadores en el terreno de juego debe medirse geométricamente. Para ello se debe utilizar una cinta métrica pre-calibrada o cualquier otro dispositivo que permita el cálculo de distancias. Como el sistema de calibración debe contener la totalidad del terreno de juego algunos de los marcadores utilizados pueden corresponder a puntos de referencia del propio terreno como podrían ser las esquinas. A partir de la distancia entre los puntos se determinaron las coordenadas 2D de cada uno de ellos respecto al sistema de referencia elegido.

Si se utilizan tres cámaras para poder filmar la totalidad del terreno de juego deberá haber tres sistemas de referencia, cada uno de ellos formado por seis puntos que lo delimiten. Algunos de estos puntos deben estar presentes en dos cámaras para marcar los límites de filmación de cada una de ellas. La Figura 2.18 muestra, a modo de ejemplo, el desarrollo de un sistema de calibración para una de las imágenes obtenidas por una de las cámaras durante la filmación de los partidos.



Figura 2.18 Sistema de calibración formado por seis puntos para una de las cámaras con la cual se realizaba la filmación. La posición de los puntos se medía sobre el campo antes de iniciarse el partido.

Filmación del movimiento

El último paso del registro de los datos es la filmación del movimiento (Figura 2.19). Una vez preparadas las cámaras y almacenado el sistema de calibración la grabación del movimiento -o del partido en este caso- debe realizarse cuando se

inicia el mismo. Para evitar la pérdida de información se suele comenzar la filmación unos 30 s antes del saque de centro. Una vez iniciada la grabación las cámaras deben permanecer fijas puesto que cualquier movimiento de la cámara obligaría a realizar una nueva calibración del espacio al finalizar el partido.



Figura 2.19 Filmación del movimiento de los deportistas en el partido España-Estados Unidos.

La velocidad de filmación de las cámaras de vídeo es la estándar según el sistema PAL, es decir 50 campos o 25 imágenes por segundo. Las cámaras de vídeo realizan la filmación a partir de la detección de la imagen utilizando un rango de sensores de luz y, en teoría, no ofrecen ninguna distorsión geométrica (Bartlett, 1997).

La fase de registro de datos abarcó la filmación de doce partidos para lo cual se utilizaron 48 cintas de mini DV de la marca FUJI modelo DVM60CME E de 60 min de duración y 24 cintas de Súper VHS de la marca FUJI modelo PRO de 60 min de duración. Puesto que la duración de las cintas era de 60 min y la duración de cada

período de juego de 45 min, en el descanso de los partidos se procedió a la sustitución de las cintas para así evitar interrupciones en el registro durante los segundos tiempos de los partidos.

2.1.3.3 Procesamiento de los datos

El registro de los datos se realiza en campo, es decir, en el lugar donde ocurre la competición mientras que el procesamiento de los datos se realiza en el Laboratorio de Biomecánica Deportiva de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte (INEF) de Madrid.

Para poder trabajar con las imágenes de vídeo obtenidas durante las filmaciones el primer paso requerido es capturar las imágenes por el ordenador. Se entiende por captura el proceso por el cual la película de vídeo que está almacenada en una cinta pasa a la memoria del ordenador. La cinta que contiene la filmación se introduce en un magnetoscopio, en este caso uno de la marca JVC modelo HR-DVS2 y mediante una tarjeta capturadora de imagen FAST-FORWARD la imagen se pasa al ordenador. La propia tarjeta incorpora un software para la gestión de las imágenes y permite la captura de secuencias de imágenes de duración definida por el usuario (siempre y cuando la memoria del ordenador sea la suficiente).

En este punto se dispone de la totalidad de la secuencia del partido en la memoria del ordenador respetando la velocidad de filmación original del mismo, que es de 25 imágenes por segundo. Una frecuencia de muestro de 50 Hz (obtenida al desdoblarse los fotogramas en los campos par e impar que forman la imagen) es la frecuencia

empleada para buena parte de los análisis biomecánicos de gestos técnicos como la realización de un elemento gimnástico o la técnica de la carrera o el nado.

Para alcanzar los objetivos de la presente investigación dicha frecuencia resulta excesiva puesto que las variaciones en la posición del cuerpo (definido por un punto) se producen en intervalos de tiempo mayores. En estudios que han utilizado técnicas fotogramétricas para el análisis de la actividad cinemática de los futbolistas se han empleado siempre frecuencias de muestreo de una imagen por segundo (Franks & Goodman, 1986; Van Gool *et al.*, 1988; Molina, 1992; Erdmann, 1993) para el procesamiento de los datos.

El paso de una secuencia con 25 imágenes filmadas por segundo (velocidad de filmación de la cámara) a una secuencia con una frecuencia de una imagen por segundo requiere la utilización de un programa informático como puede ser el ADOBE PREMIERE 6.0. Mediante un procedimiento automático el programa selecciona 1 de cada 25 fotogramas siempre manteniendo un intervalo regular de tiempo. La nueva secuencia final generada puede ser almacenada en distintos formatos utilizándose en el presente caso el Windows Bitmap Sequence bajo la extensión *.bmp.

Al utilizar tres cámaras para el registro de los datos resulta necesario sincronizar las imágenes. El proceso de sincronización implica el establecimiento de un código de tiempo común a partir del cual poder analizar el movimiento del deportista. Este proceso se puede realizar con ayuda del programa SINCRO (Figura 2.20) desarrollado en el Laboratorio de Biomecánica Deportiva del INEF de Madrid. Las imágenes de las tres cámaras se deben sincronizar a partir de un evento común. El criterio empleado para establecer dicho momento puede ser un saque inicial o

cualquier reanudación del juego tras alguna interrupción, siempre y cuando dichos eventos sean visibles en más de una cámara. Una vez sincronizadas todas las secuencias el propio programa SINCRO facilita el almacenamiento de las mismas bajo formato *.jpg con el consiguiente ahorro de memoria que ello supone en relación a los archivos *.bmp.

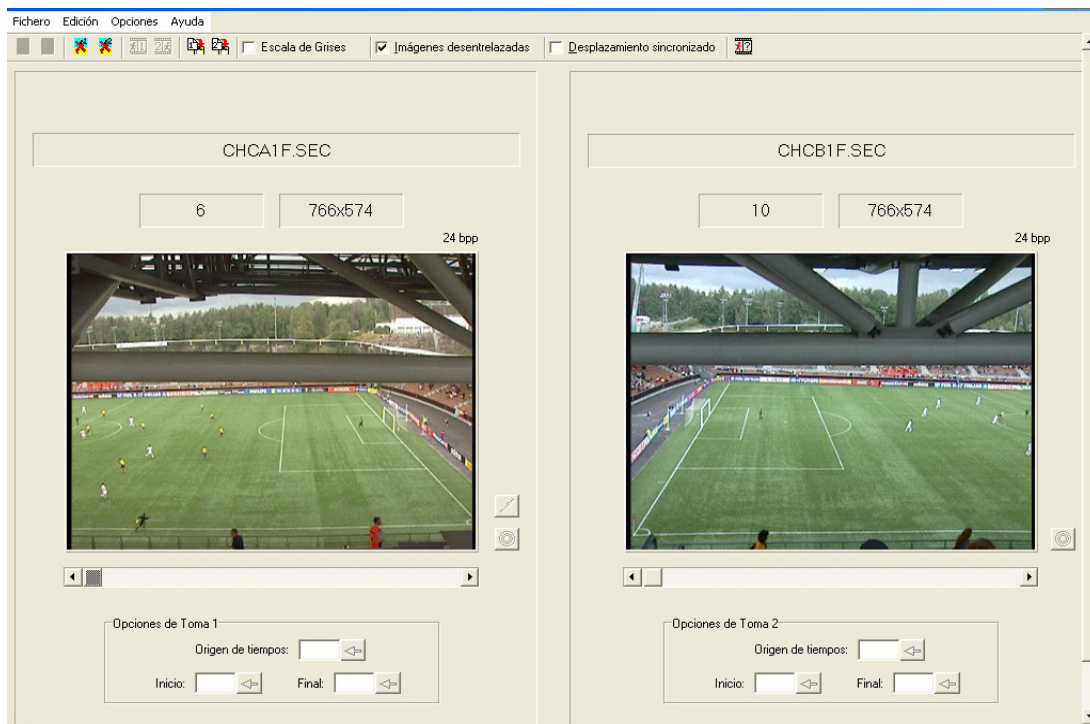


Figura 2.20 Sincronización de secuencias obtenidas desde distintas cámaras a partir de un evento común (saque de centro) utilizando el programa SINCRO.

Una vez que se disponían de los fotogramas que componen cada partido (90 min de partido x 60 imágenes por minuto = 5.400 fotogramas) se puede proceder a digitalizar los mismos utilizando otro programa desarrollado en el Laboratorio de Biomecánica Deportiva denominado PHOTO 23D.

Este programa está inspirado en los paneles de digitalización tradicionalmente utilizados en la biomecánica deportiva para el análisis de la técnica. Se fundamenta en la proyección en la pantalla del ordenador de cada uno de los fotogramas que componen la secuencia a analizar. Digitalizar consiste en marcar con el puntero del ratón la posición del deportista en cada fotograma. La resolución de la pantalla del ordenador se configura en 1.024x768 pixels de manera que al digitalizar la posición, se está seleccionando 1 de los 786.432 pixels que forman la pantalla.

Como se señaló en el apartado anterior el modelo mecánico empleado para determinar la posición de cada deportista era el de un punto, representando este punto la proyección vertical del centro de gravedad sobre el terreno de juego. Al estudiarse el movimiento de los tres jueces durante los partidos en cada fotograma se debe digitalizar la posición que ocupa el árbitro y los dos árbitros asistentes, en el caso de que éstos aparezcan en la imagen. Cuando no aparece alguno de ellos la posición del correspondiente juez se deja en blanco ya que ello indica que el árbitro o árbitros asistentes están en una parte del terreno de juego abarcada por el campo de filmación de otra de las vídeo-cámaras.

La Figura 2.21 muestra el programa de digitalización PHOTO 23D. En la imagen se puede observar uno de los fotogramas que componen la secuencia de un partido filmado desde una de las tres cámaras. Al igual que sucede con toda la película en él se debe indicar la posición de todos los deportistas, en este caso jueces, que aparecen en la pantalla. Utilizando la barra de desplazamiento o las teclas de cursores el usuario puede ir avanzando fotograma a fotograma a lo largo de toda la película.

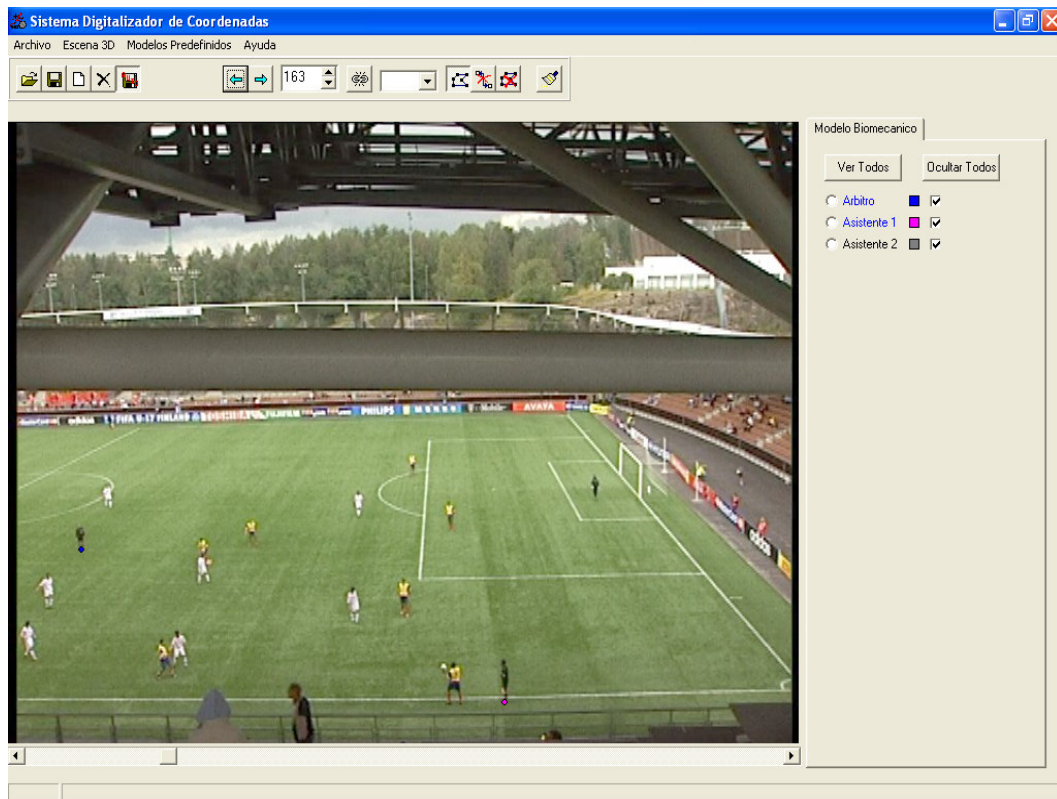


Figura 2.21 Pantalla del programa PHOTO 23D utilizado para digitalizar la posición de los árbitros y árbitros asistentes durante el juego.

Al completar la digitalización de la totalidad de la secuencia de juego los datos correspondientes a la posición de los tres jueces a lo largo del tiempo de juego analizado se exportan en forma de fichero de texto (formato ASCII). Este tipo de ficheros recoge la posición, en pixels, de cada uno de los tres jueces en el intervalo de tiempo digitalizado (Figura 2.22). Este mismo proceso se sigue con las secuencias de imágenes obtenidas en las otras dos cámaras utilizadas durante el proceso de filmación.

espsle1 - Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
567.000000	460.000000			
386.000000	319.000000			
655.000000	462.000000			
389.000000	319.000000			
662.000000	463.000000			
388.000000	318.000000			
643.000000	464.000000			
384.000000	317.000000			
614.000000	463.000000			
382.000000	316.000000			
582.000000	463.000000			
380.000000	316.000000			
557.000000	462.000000			
376.000000	316.000000			
550.000000	462.000000			
369.000000	315.000000			

Figura 2.22 Fichero de texto con los datos de las posiciones digitalizadas (en pixels).

Una vez obtenidos los datos de la posición de los jueces en unidades informáticas (pixels) resulta necesario transformar las mismas a unidades reales (metros). Este proceso requiere la utilización de los sistemas de calibración filmados y medidos durante la fase del registro de los datos. Cada uno de los sistemas de referencia deberá estar formado por, al menos, cuatro puntos y a partir de ellos se pueden determinar las coordenadas de los puntos que están contenidos dentro del mismo.

Para poder llevar a cabo este procedimiento resulta necesario medir la distancia existente entre cada punto que forma parte del sistema y el punto que se establece como origen (Jalón 1: Origen) y también la distancia al punto que forma el eje del sistema de calibración (P9: Eje). La Figura 2.23 representa de modo esquemático las medidas a realizar sobre un teórico sistema de referencia formado por seis puntos.

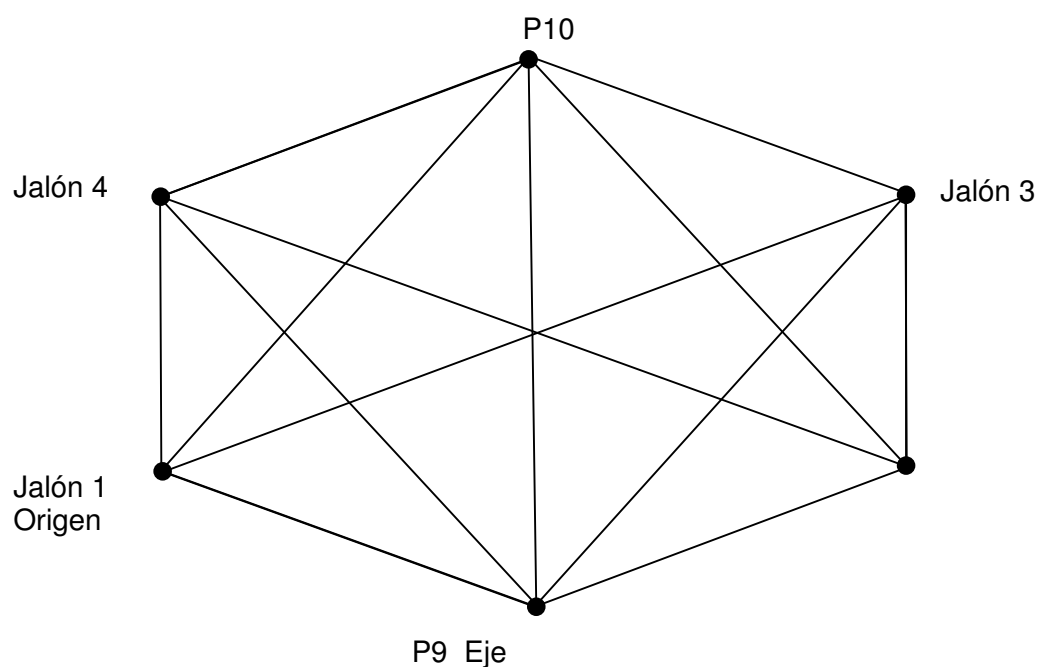


Figura 2.23 Sistema de referencia formado por seis puntos empleado para calibrar el espacio filmado por cada una de las cámaras de vídeo.

Todas las medidas realizadas sobre el terreno de juego se introducen en un programa computerizado desarrollado al efecto en formato de hoja de cálculo (Microsoft Excel 2000). En esta aplicación informática están definidas de antemano una serie de funciones trigonométricas que permiten, una vez introducidas las medidas realizadas sobre el propio terreno de juego durante la fase de registro de los datos en sus celdas correspondientes, la obtención de las coordenadas reales de cada uno de seis puntos que formaban parte del sistema de referencia (Figura 2.24).

Punto s.g.	Distancias			Angulo	Azimut	Distancia
	Origen-Peje	Origen-?	Peje-?			
Jalón1						
Jalón2	C7	D7	E7	$\text{ACOS}((E7^2 - C7^2 - D7^2)/(-2 \cdot C7 \cdot D7)) \cdot 200/\text{PI}()$	100-F7	D7
Jalón3	C8	D8	E8	$\text{ACOS}((E8^2 - C8^2 - D8^2)/(-2 \cdot C8 \cdot D8)) \cdot 200/\text{PI}()$	100-F8	D8
Jalón4	C9	D9	E9	$\text{ACOS}((E9^2 - C9^2 - D9^2)/(-2 \cdot C9 \cdot D9)) \cdot 200/\text{PI}()$	100-F9	D9
P9	C10	D10	E10	$\text{ACOS}((E10^2 - C10^2 - D10^2)/(-2 \cdot C10 \cdot D10)) \cdot 200/\text{PI}()$	100-F10	D10
P10	C11	D11	E11	$\text{ACOS}((E11^2 - C11^2 - D11^2)/(-2 \cdot C11 \cdot D11)) \cdot 200/\text{PI}()$	100-F11	D11

	Coordenadas finales	
	X	Y
Jalón 1	$H6 \cdot \text{SENO}(G6 \cdot \text{PI}()/200)$	$H6 \cdot \text{COS}(G6 \cdot \text{PI}()/200)$
Jalón 2	$H7 \cdot \text{SENO}(G7 \cdot \text{PI}()/200)$	$H7 \cdot \text{COS}(G7 \cdot \text{PI}()/200)$
Jalón 3	$H8 \cdot \text{SENO}(G8 \cdot \text{PI}()/200)$	$H8 \cdot \text{COS}(G8 \cdot \text{PI}()/200)$
Jalón 4	$H9 \cdot \text{SENO}(G9 \cdot \text{PI}()/200)$	$H9 \cdot \text{COS}(G9 \cdot \text{PI}()/200)$
P9	$H10 \cdot \text{SENO}(G10 \cdot \text{PI}()/200)$	$H10 \cdot \text{COS}(G10 \cdot \text{PI}()/200)$
P10	$H11 \cdot \text{SENO}(G11 \cdot \text{PI}()/200)$	$H11 \cdot \text{COS}(G11 \cdot \text{PI}()/200)$

Figura 2.24 Operaciones trigonométricas realizadas por la aplicación informática para obtener las coordenadas reales de los puntos que forman el sistema de calibración.

Una vez que se dispone de las coordenadas reales de los puntos que forman parte del sistema de calibración para cada una de las cámaras se procede a digitalizar dichos puntos. Como la cámara permanece fija a lo largo de las filmaciones de los encuentros la digitalización de un único fotograma resulta suficiente para obtener las coordenadas proyectadas sobre la pantalla. Los datos obtenidos se exportan en forma de fichero de texto (ASCII) y se utilizan para completar otro fichero en formato de texto (Figura 2.25) en el que se incluyen las coordenadas en pixels de cada uno de los puntos (obtenidas mediante el proceso de digitalización) y las coordenadas reales, en metros, de cada uno de los puntos (medidas *in situ* en el propio terreno de juego y obtenidas por el procedimiento trigonométrico).

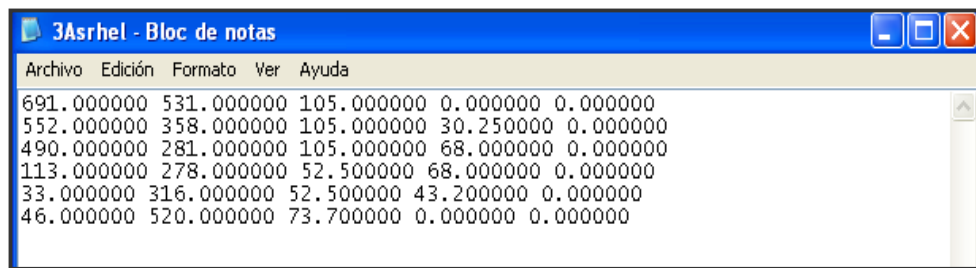


Figura 2.25 Modelo de fichero de texto con los datos de un sistema de calibración.

Llegados a este punto, en el que se dispone ya de los datos de la secuencia de juego digitalizada y los datos del sistema de calibración, la utilización de otro programa informático desarrollado en el Laboratorio de Biomecánica del INEF de Madrid denominado BIOMECH (Figura 2.26) permite obtener las coordenadas reales de cada posición sobre el terreno de juego.

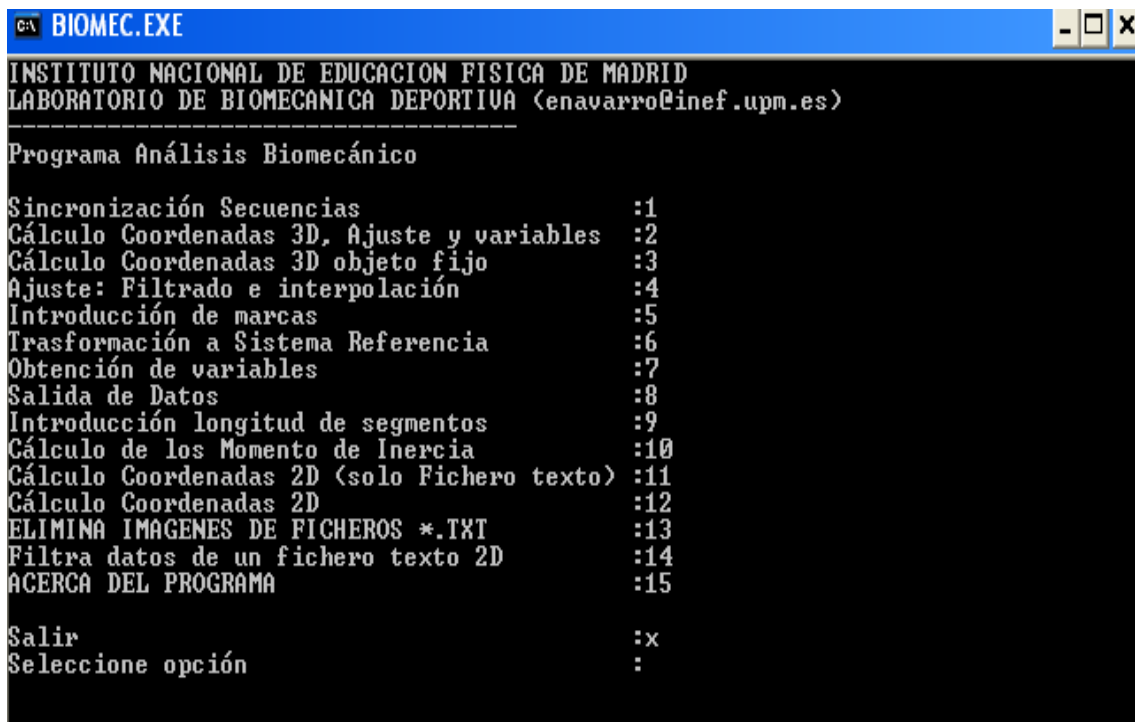


Figura 2.26 Pantalla principal del programa informático BIOMECH.

El programa BIOMECH está basado en los algoritmos de la DLT (Adbel-Aziz & Karara, 1971) y tiene numerosas aplicaciones en el campo de la fotogrametría en dos y tres dimensiones. Una vez digitalizadas las secuencias de fotogramas y los correspondientes objetos de calibración éstos se introducen en el programa y a partir de la realización de una serie de rutinas de cálculo utilizando los parámetros de transformación, permite pasar de coordenadas proyectadas en la imagen (pixels) a coordenadas reales (metros).

Al realizar los estudios en dos dimensiones el programa BIOMECH (en su opción número 11) exige al usuario la introducción de un fichero de texto que contenga las coordenadas de la secuencia (en pixels; Figura 2.22), otro fichero de texto que contenga los datos relativos al sistema de calibración (coordenadas en pixels y coordenadas reales; Figura 2.25) y requiere que se le indique el número de sujetos analizados, que en el presente caso fueron tres (Figura 2.27).

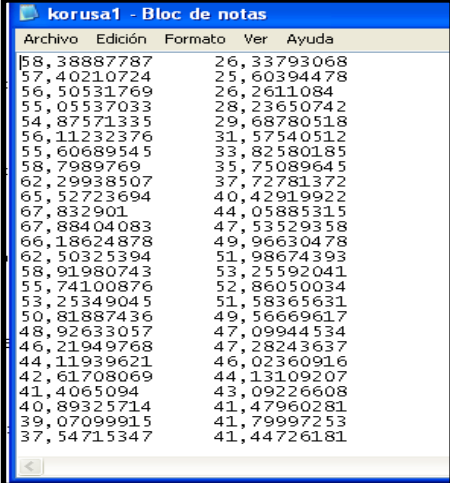
```

INSTITUTO NACIONAL DE EDUCACION FISICA DE MADRID
LABORATORIO DE BIOMECANICA DEPORTIVA
-----
Calculo coordenadas 3D de los puntos mediante algoritmo DLT
Cálculo coordenadas 3D del centro de masas

Los datos están en c:\cinetres\
Otra unidad y directorio          :
fichero *.txt datos sec           : espusa
fichero *.txt calibracion sec      : srlahiti
número puntos                     : 3
fichero salida                    : ESPUSA1
es correcto (s/n)                 : s
-----
Calcula coordenadas 3D mediante algoritmo DLT
ficheros entrada: espusa      srlahiti
número puntos del modelo mecánico: 3
ficheros salida: ESPUSA1.xyz
  
```

Figura 2.27 Cálculo de las coordenadas reales de los puntos en el programa BIOMECH.

Mediante la aplicación de los algoritmos de la DLT (Adbel-Aziz & Karara, 1971) el programa genera un nuevo fichero de texto que recoge las coordenadas reales de cada uno de los puntos digitalizados a lo largo de toda la secuencia de tiempo (Figura 2.28).



Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
58,38887787	26,33793068			
57,40210724	25,60394478			
56,50531769	26,2611084			
55,05337033	28,23650742			
54,87571335	29,68780518			
56,11232376	31,57540512			
55,60689545	33,82580185			
58,7989769	35,75089645			
62,29938507	37,72781372			
65,52723694	40,42919922			
67,832901	44,05885315			
67,88404083	47,53529358			
66,18624878	49,96630478			
62,50325394	51,98674393			
58,91980743	53,25592041			
55,74100876	52,86050034			
53,25349045	51,58365631			
50,81887436	49,56669617			
48,92633057	47,09944534			
46,21949768	47,28243637			
44,11939621	46,02360916			
42,61708069	44,13109207			
41,4065094	43,09226608			
40,89325714	41,47960281			
39,07099915	41,79997253			
37,54715347	41,44726181			

Figura 2.28 Fichero de texto que recoge las coordenadas reales de la posición de los deportistas.

Una vez que se conocen las coordenadas (x, y) de las posiciones reales de los deportistas en cada intervalo de tiempo se pueden obtener distintas variables cinemáticas que contribuyen a caracterizar el movimiento (distancias acumuladas, velocidades, aceleraciones, etc.).

Otro de los parámetros que se puede analizar con este procedimiento es la distancia a las infracciones. Para ello resulta necesario capturar todas las secuencias de los partidos en los que se ha producido la señalización de cualquier tipo de incidencia (faltas, manos, penaltys, etc.). Estas secuencias se almacenan en la memoria del ordenador a una velocidad de 25 imágenes por segundo (sistema de vídeo PAL) y de ellas se seleccionan los fotogramas en los que se observa con

nitidez la posición del lugar en el cual ocurre la infracción y la posición del árbitro en el momento que señala la misma.

Utilizando el programa PHOTO 23D se digitalizan ambas posiciones (Figura 2.29) con un modelo de dos puntos: uno para indicar la posición del árbitro y otro para indicar el lugar de la infracción. Ambas posiciones digitalizadas, en pixels, se exportan en forma de fichero de texto.



Figura 2.29 Fotograma digitalizado en el programa PHOTO 23D en el momento en el que el árbitro señala una infracción.

El fichero de texto que incluye las posiciones del lugar de la infracción y del árbitro se introducen en el programa BIOMECH junto al fichero de texto que incluye los datos del sistema de calibración para la cámara con la que se ha filmado dicha incidencia. Utilizando los algoritmos de la DLT (Adbel-Aziz & Karara, 1971)

anteriormente expuestos el programa genera un fichero de texto a partir del cual se pueden obtener las coordenadas reales de los puntos digitalizados.

Para determinar la distancia de los árbitros asistentes a la línea del fuera de juego el procedimiento utilizado es el mismo, capturando en primer lugar la secuencia en la que se señala el fuera de juego para luego digitalizar, utilizando el programa PHOTO 23D, la posición del árbitro asistente y la del penúltimo jugador del equipo defensor puesto que este jugador es el que delimita la correcta posición técnica de los árbitros asistentes durante el juego. El fotograma en el que se produce la posición teórica de fuera de juego, es decir, cuando el balón sale del pie del atacante que da el pase, se captura y se digitaliza (Figura 2.30).



Figura 2.30 Captura del momento en que se da el último pase previo a la señalización (errónea) de una posición de fuera de juego.

La introducción del fichero de texto con las posiciones digitalizadas junto al correspondiente fichero con los datos del sistema de calibración correspondientes a

la cámara que filmaba dicha acción, permite obtener las coordenadas reales de dichos puntos en el programa BIOMECH.

2.1.3.4 Validación de la técnica de adquisición de los datos

Los métodos empleados para el análisis de la participación de los deportistas en el juego deben ser válidos, fiables y objetivos (Reilly, 1994a). La revisión de la bibliografía publicada sobre el tema revela el uso indistinto de diversos procedimientos estadísticos para determinar la validez y fiabilidad de las diferentes técnicas instrumentales utilizadas durante el registro de los datos. Debido a la variabilidad terminológica que se observa en los estudios resulta necesario respetar una correcta definición de estos conceptos para facilitar su adecuada interpretación.

La validez de una medida indica el grado en el que un test o una herramienta mide realmente lo que supuestamente debe medir (Thomas & Nelson, 1985). Estos autores definen cuatro tipos distintos de validez (lógica, de contenido, de criterio y constructiva) aunque, para los objetivos de esta investigación, en la que se ha desarrollado una nueva técnica instrumental, conviene hacer referencia a la validez de criterio puesto que la validez lógica se puede lograr con la descripción de la metodología realizada en la sección anterior.

La validez concurrente es, a su vez, una vertiente de la validez de criterio y se emplea cuando un instrumento de medida se correlaciona con un criterio de referencia que se administra al mismo tiempo (Thomas & Nelson, 2001). Para poder llevar a cabo este proceso se requiere disponer de una prueba que ofrezca una validez máxima en los resultados sobre la medida a realizar, de modo que los

valores obtenidos con la nueva herramienta se puedan comparar con el criterio de referencia.

A pesar de la importancia conceptual que resulta la realización del proceso de validación de una técnica experimental antes de emplear la misma en una investigación no es frecuente la explicación en la literatura de los aspectos relativos a dicho proceso en estudios similares al actual centrados en el análisis del movimiento de los deportistas.

Al aplicar cualquier tipo de técnica experimental siempre existe un componente de error en la medida registrada siendo el objetivo del investigador eliminar o reducir este error para intentar llegar al resultado verdadero ("true score") (Thomas & Nelson, 1985). Los principales componentes del error de medida son la exactitud ("accuracy") o error sistemático ("systematic bias") que hace que las medidas sean diferentes en una dirección particular al realizar tomas de datos repetidas y la precisión ("precision") o error aleatorio ("random error") fundamentado en las variaciones biológicas del sujeto que ejecuta la acción o por la variabilidad mecánica del aparato empleado (Allard *et al.*, 1995; Atkinson & Nevill, 1998).

Esta cantidad de error inherente a todas las técnicas instrumentales contribuye a definir la fiabilidad de las mismas de modo que una metodología resulta fiable para la obtención de los resultados si el error que se obtiene al realizar la medida es aceptable para su uso práctico (Atkinson & Nevill, 1998). Resulta necesario respetar la consideración que un test puede ser fiable pero no válido para los objetivos de una investigación mientras que un test nunca será válido si no es fiable (González Badillo, 2002). La fiabilidad se puede expresar en términos absolutos, haciendo referencia a la exactitud de la medida (algunos autores denominan a esto validez),

en términos relativos, reflejando la consistencia de la medida, o bien según la objetividad de los datos obtenidos.

Para llevar a cabo este proceso en el presente trabajo, la validez de la metodología se estableció en base a que fuese capaz de medir distancias sobre el terreno de juego y a que se pudiese emplear para determinar la velocidad instantánea de los desplazamientos realizados sobre el mismo. Un objetivo adicional del proceso de validación de la herramienta fue determinar si una frecuencia de muestreo de 1 Hz resultaba suficiente para los objetivos que se pretendían alcanzar durante la investigación.

La primera etapa del proceso de validación se realizó sobre un campo de fútbol de características similares a los que posteriormente se llevó a cabo el registro real de los datos en el que se repartieron al azar un total de 37 marcadores (conos pequeños) de distintos colores. Todos estos marcadores se distribuyeron dentro de una zona común que actuaba a modo de sistema de calibración y cuyas medidas reales se midieron sobre el terreno de juego.

Utilizando una cinta pre-calibrada de 50 m se fue midiendo la distancia horizontal y vertical de cada uno de los marcadores respecto al origen de coordenadas preestablecido (esquina del campo). Para ello se insertaba una pequeña varilla de metal a modo de pica en el centro del marcador y se unía a él una cuerda de nylon que se tensaba hasta la línea lateral del campo para establecer la referencia a medir. La distancia entre cada dos marcadores también se medía directamente sobre el terreno de juego. La superficie de juego se filmaba desde la grada principal del estadio (Figura 2.31) respetando todas las consideraciones que exige esta técnica experimental y que fueron expuestas en el apartado anterior.



Figura 2.31 Distribución de marcadores sobre el terreno de juego de un campo de fútbol durante el proceso de validación de la técnica experimental.

Posteriormente ya en el Laboratorio de Biomecánica, se continuaba con los pasos necesarios para aplicar la presente metodología. Las imágenes se pasaban desde las cintas de vídeo, en formato mini DV, al ordenador utilizando una tarjeta capturadora de la imagen y se digitalizaba la posición de los marcadores con el programa PHOTO 23D. A la conclusión de este proceso los datos se exportaban en forma de fichero de texto. De igual manera se procedió con el sistema de calibración, digitalizando los seis puntos que lo formaban y exportando los datos como otro fichero de texto, al que se añadieron las dimensiones reales medidas sobre el terreno de juego.

La utilización del programa BIOMECH permitió determinar las coordenadas (x , y) de cada uno de los puntos digitalizados y la distancia entre dos puntos. Una vez obtenidas las posiciones y distancias reales durante la medición en campo y la

distancia reconstruida por medio de la técnica fotogramétrica bidimensional, para determinar la validez concurrente de la metodología se correlacionaron las distancias obtenidas mediante ambos procedimientos (Figura 2.32).

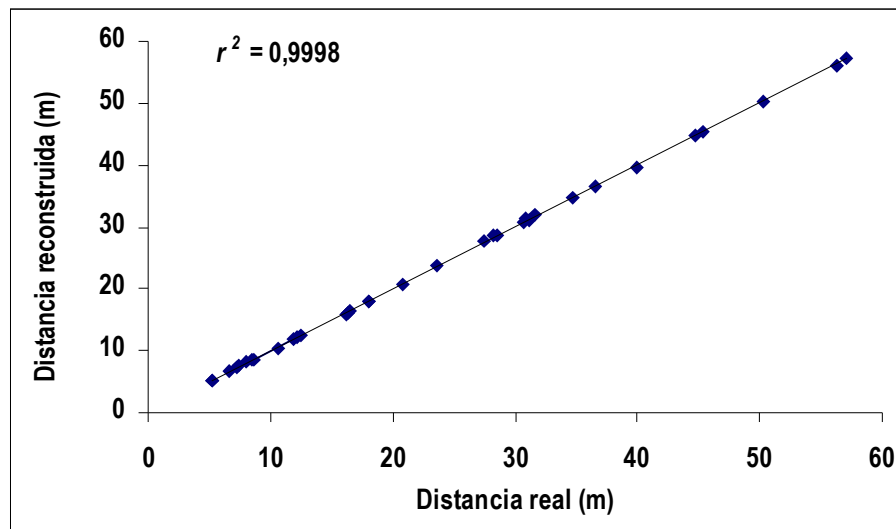


Figura 2.32 Correlación entre la distancia real medida sobre el terreno de juego y la distancia reconstruida por medio de la fotogrametría en dos dimensiones.

Bland & Altman (1986) (en Atkinson & Nevill, 1998) sugieren que al comparar dos metodologías diferentes para la validación de una ellas, resulta más correcto emplear la técnica estadística de los límites de confianza (“limits of agreement”). El primer paso para la aplicación de este procedimiento consiste en representar gráficamente las diferencias individuales entre los dos métodos al realizar la misma medida (distancia real – distancia reconstruida) contra la media individual respectiva (Figura 2.33).

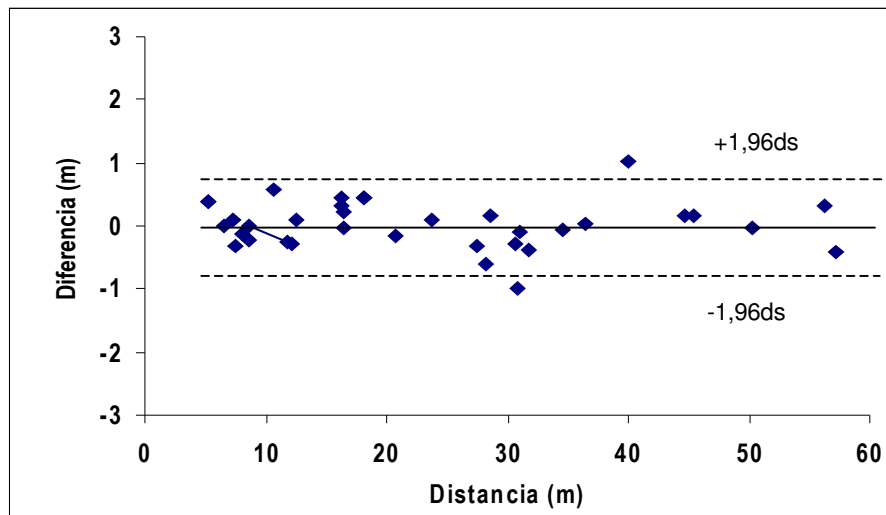


Figura 2.33 Gráfica de Bland-Altman que muestra la diferencia entre los dos métodos empleados para el cálculo de la distancia y la media de las dos medidas realizadas.

Mediante este tipo de representación gráfica se puede observar de una manera más clara como se distribuyen los datos y obtener una indicación aproximada del error sistemático y aleatorio. De las 37 medidas realizadas solamente en dos de ellas la diferencia entre ambos procedimientos para reconstruir la distancia fueron superiores a $\pm 1,96$ desviaciones estándar de la media. Siguiendo el criterio de Williams & Lamb (1997) la aplicación de esta técnica estadística para la validación de la metodología muestra como la fotogrametría 2D presenta un error sistemático (“systematic bias”) y unos límites de confianza al 95% de $0,02 \pm 0,74$ m.

Allard *et al.* (1995) recomiendan que al aplicar técnicas fotogramétricas para la reconstrucción de coordenadas se emplee únicamente el error “Root Mean Square” (RMS) (raíz cuadrada de la media de los cuadrados) ya que se trata de una estimación conservadora de la exactitud del instrumento de medida. El RMS de una medida se obtiene aplicando la siguiente fórmula matemática:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum (posición_{real} - posición_{digitalizada})^2}{número_{de medidas}}}$$

El error RMS para la reconstrucción de las coordenadas en el eje X fue de 22,80 cm y en el eje Y de 16,62 cm. En el cálculo de la distancia entre dos puntos utilizando la presente técnica experimental el error RMS fue del 1,98%. Es importante reseñar que para la obtención de este error no deben utilizarse puntos que a su vez hayan sido utilizados en el sistema de calibración de las imágenes (Allard *et al.*, 1995) consideración que fue respetada en el presente estudio piloto.

Existen otras maneras más sencillas de expresar el error en la reconstrucción de la distancia entre dos puntos. El error medio representa el promedio de los errores sobre las distancias medidas y en el estudio actual tuvo un valor de 0,78%. Este valor infravalora el error anterior puesto que las variaciones de la medida en un sentido pueden ser compensadas en el otro, de ahí que este registro sea menos restrictivo que el RMS. El error absoluto de las medidas realizadas fue del 1,51%. En este caso se considera únicamente la diferencia absoluta entre las medidas (módulo de la diferencia) por lo que esta forma de expresar el error muestra un comportamiento intermedio entre el error medio y el RMS.

Para completar el proceso de validación de la técnica instrumental se realizaron otros estudios piloto. Al igual que realizaron D'Ottavio & Castagna (2001a) en uno de estos trabajos un deportista recorrió diferentes trayectorias sobre un campo del fútbol a velocidades prefijadas simulando movimientos habitualmente realizados por los árbitros de fútbol durante los partidos. Con esta estructura se diseñaron 5 tipos de circuitos por el terreno de juego por los que el deportista se desplazaba empleando las siguientes categorías de movimientos:

- (a) andar (velocidad lineal entre 1 y 2 m/s),
- (b) trotar (de 2 a 3,6 m/s),
- (c) correr de forma rápida (de 3,61 a 5 m/s) y
- (d) desplazamiento en forma intermitente (que simulaba el desplazamiento de los árbitros alternando entre los niveles de intensidad anteriores y añadiendo también paradas y desplazamientos a la máxima velocidad).

La distancia real de los desplazamientos medida en el campo utilizando una cinta métrica pre-calibrada de 50 m fue comparada con la distancia obtenida mediante el análisis fotogramétrico bidimensional. Cada una de las secuencias de desplazamientos fue digitalizada con distintas frecuencias de muestreo (1, 2 y 4 Hz) que indica el número de fotogramas que se digitalizan en cada segundo de secuencia. Para la comparación de los datos se realizó un análisis de la varianza incluyendo las tres frecuencias de registro de los datos y la distancia de cada circuito medida directamente sobre el propio terreno de juego.

No se encontraron diferencias significativas ($p>0.05$) cuando se comparó la distancia total medida sobre el campo y la distancia digitalizada a una frecuencia de muestreo de una imagen por segundo (1 Hz) en ninguna de las categorías. El coeficiente de variación (Atkinson & Nevill, 1998), utilizado para ver la variabilidad de la medida al comparar la distancia real y las distancias obtenidas tras la digitalización a 1 Hz, para cada una de las categorías de desplazamiento fue: andar: 1,08%; trotar: 1,12%; correr rápido: 2,21 y desplazarse con esfuerzos intermitentes: 0,5%. Por lo tanto para la categoría de desplazamiento intermitente, aquella que refleja de una manera más específica la realidad de los desplazamientos de los árbitros, la diferencia entre ambas metodologías para el cálculo de la distancia total recorrida presentaba un coeficiente de variación inferior

al 0,5% lo cual permite aconsejar la utilización de la frecuencia de 1 Hercio en la presente investigación.

Para definir la fiabilidad de una herramienta es necesario atender a la consistencia o estabilidad de las medidas realizadas, es decir, a las variaciones individuales que se obtienen cuando un mismo observador repite una medición con un intervalo de tiempo entre ambas ocasiones. El concepto de objetividad vendría a significar el grado en el que difieren los resultados obtenidos por distintos observadores al realizar la misma medición.

Estos dos conceptos: estabilidad (variación intra-individual) y objetividad (variación inter-individual) son los habitualmente citados en los trabajos de investigación sobre la materia a la hora de caracterizar una metodología aunque, en ocasiones, los estadísticos empleados para llevar a cabo estos procedimientos no hayan sido los adecuados (Drust *et al.*, 1997).

Tradicionalmente el estudio de la fiabilidad de una metodología se ha realizado mediante el empleo de coeficientes de correlación. Thomas & Nelson (1985) sugieren que no debe emplearse un coeficiente de correlación interclase (como el de Pearson) para llevar a cabo este tipo de procesos puesto que éste tipo de correlación se utiliza para relacionar dos variables distintas mientras que en las pruebas de fiabilidad se correlaciona la misma variable en dos o más ocasiones. Es por ello que Nevill & Atkinson (1998) opinen que la técnica estadística más adecuada a emplear para llevar a cabo las comparaciones entre las dos medidas es mediante los límites de confianza de Bland & Altman (1986) puesto que los coeficientes de correlación no parecen ser lo suficientemente sensibles para

determinar la reproductividad de los sistemas de análisis del movimiento cuando se observan grandes variaciones en los datos (Drust *et al.*, 1997).

Para analizar la estabilidad de las medidas realizadas con la presente metodología fotogramétrica se llevó a cabo un estudio piloto en el que una persona con experiencia previa en la digitalización del movimiento humano y que previamente había participado en otros proyectos de investigación similares llevados a cabo en el Laboratorio de Biomecánica (Navarro *et al.*, 2003) digitalizaba una secuencia de 2.700 fotogramas. Pasados tres meses el mismo sujeto repetía la digitalización de la secuencia y se compararon las posiciones registradas en el eje x y en el eje y para poder estudiar la precisión (consistencia) de la medida. La comparación entre ambas medidas se realizaba directamente sobre las coordenadas digitalizadas respetando la consideración de Hughes *et al.* (2004) que afirman que cada día se está volviendo más evidente el hecho que el primer paso de los estudios de fiabilidad deba ser la comparación de los datos crudos (“raw data”) obtenidos, en el caso de que sea posible, en su formato original.

Las coordenadas digitalizadas en el eje de las x presentaban una diferencia entre ambas digitalizaciones (error $\pm$ 95% de los límites de confianza) de $0,35 \pm 3,06$ pixels mientras que en el eje y era de $0,41 \pm 2,70$ pixels. Estos datos avalan la enorme reproductividad de los datos obtenidos puesto que la pantalla del ordenador estaba formada por 1.024 pixels en el eje horizontal y por 768 pixels en el eje vertical. No se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en cuanto a la distancia total reconstruida entre ambas digitalizaciones de las secuencias.

En el proceso de digitalización de los partidos durante la presente investigación participaron tres alumnos matriculados en los cursos de Doctorado impartidos en la

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de Madrid. Los tres alumnos habían participado anteriormente en proyectos de investigación relacionados con la biomecánica deportiva (Navarro *et al.*, 2003) y tenían experiencia previa en la digitalización del movimiento humano. Al participar más de un digitalizador en la presente investigación éstos colaboraron en el proceso de verificación de la objetividad del método.

El procedimiento que se suele emplear para determinar la objetividad de los observadores y de la metodología (Withers *et al.*, 1982; Mayhew & Wenger, 1985; Riera, 1986; Bangsbo *et al.*, 1991; McErlean *et al.*, 1998; Rienzi *et al.*, 2000; D'Ottavio & Castagna, 2001a; Martin *et al.*, 2001) consiste en comparar los resultados obtenidos por dos o más personas al analizar la misma secuencia de juego. La objetividad de los distintas técnicas experimentales para el análisis del juego oscila entre el 1 y el 5%.

En el trabajo de investigación actual, para estudiar la objetividad de los datos, los tres investigadores digitalizaron una misma secuencia de un partido (2.700 puntos). Los datos de cada digitalización se exportaron como un fichero de texto y se comprobaron las coordenadas entre sí. Siguiendo las recomendaciones de Nevill & Atkison (1998) para la comparación de los resultados obtenidos en más de dos observaciones se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) con medidas repetidas. No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en las coordenadas digitalizadas entre ninguno de los tres digitalizadores. En todos los casos las diferencias fueron inferiores al 0,5%.

La precisión de cada digitalizador se evaluó mediante un trabajo experimental en el que cada uno de ellos debía completar una secuencia compuesta por diversos

fotogramas. Cada una de estas secuencias estaban compuestas por 25 fotogramas que se repetían de forma aleatoria en 10 ocasiones. La tarea del digitalizador consistía en marcar la posición que ocupaban los jueces en cada una de las secuencias con un intervalo de tres meses entre ambas mediciones. En todos los casos los tres observadores obtuvieron errores medios en la digitalización inferiores a 1 pixel en los ejes x e y sin que hubiese diferencias significativas entre las distintas digitalizaciones ($p>0.05$).

2.1.4 Tratamiento de los datos

2.1.4.1 Filtrado e interpolación de las coordenadas

En los métodos cinemáticos de adquisición de datos siempre existe una cierta cantidad de ruido que puede confundir potencialmente los valores reales medidos (Williams, 1993). La eliminación de las fuentes de ruido debe realizarse antes de realizar cualquier tipo de cálculo de parámetros cinemáticos (Barlett, 1997) habiéndose sugerido una variedad de métodos de filtrado para reducir la influencia del ruido y para aislar más claramente los patrones de desplazamiento, velocidad y aceleración (Williams, 1993).

Las coordenadas obtenidas en el transcurso del proceso de digitalización deben ser filtradas, procedimiento que consiste en eliminar parte del error que contienen los datos a través de técnicas matemático-estadísticas. Para ello se reducen o amplían ciertos componentes de las variables registradas (Giakas, 2004). También es necesario realizar la interpolación y diferenciación de los mismos para determinar

matemáticamente la información existente entre dos datos y calcular las derivadas respecto al tiempo de la función polinómica de ajuste (Navarro, 1998).

El programa BIOMECH en su opción número 14 del menú inicial permite filtrar los datos del fichero de texto que contiene las coordenadas de un punto en dos dimensiones (x , y). Para ello divide un fichero de texto grande en ficheros pequeños, es decir, el archivo con las posiciones correspondientes a un mismo período de juego (2.700 fotogramas) es dividido en otros más pequeños cuya longitud es de 160. De cada fichero los 20 últimos datos se van solapando con los del siguiente archivo y el programa calcula los coeficientes “spline” para cada uno de los ficheros generados.

El ajuste de los datos se realiza mediante funciones “spline” de quinto orden siguiendo el procedimiento descrito por Woltring (1985). Este tipo de suavizado de los datos, que se realiza en el dominio del tiempo, se representa por una serie de curvas polinómicas que pasan por puntos de la función. Bartlett (1997) define este proceso como el dibujo de una curva suave a través de los puntos que delimitan la función. Mediante el suavizado de los datos se pretende “forzar” los datos para que se ajusten a modelos polinómicos o de “spline” (Giakas, 2004).

El propio programa BIOMECH permite elegir al usuario entre tres opciones para realizar la interpolación y el filtrado de los datos (Figura 2.34) aunque para la presente investigación se optó por seleccionar el procedimiento de la “Cross Generalized Validation” (Woltring, 1986) debido a que se ajustaba más a los objetivos de la investigación. Este procedimiento no exige al usuario la introducción del error de los datos a suavizar puesto que el propio software selecciona un nivel óptimo para realizar el suavizado.

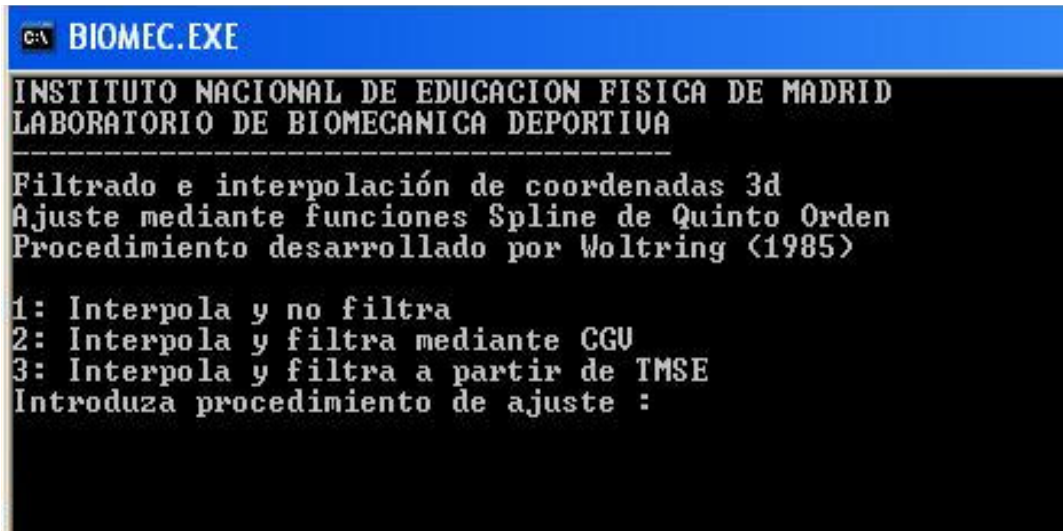


Figura 2.34 Opciones de interpolación y filtrado de los datos en el programa BIOMEK.

2.1.4.2 Obtención de las variables de estudio

Una vez que se dispone de un fichero que recoge los valores de las coordenadas reales, ya filtradas y suavizadas, de las sucesivas posiciones que los tres jueces adoptan a lo largo del juego en intervalos de tiempo conocidos se pueden obtener las variables objeto de estudio en la investigación.

Como la posición de cada deportista en el terreno de juego viene representada por un punto cuyas coordenadas (x, y) se conocen la distancia entre el lugar ocupado por el árbitro en dos instantes de tiempo sucesivos se puede calcular aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Distancia entre 2 puntos} = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}$$

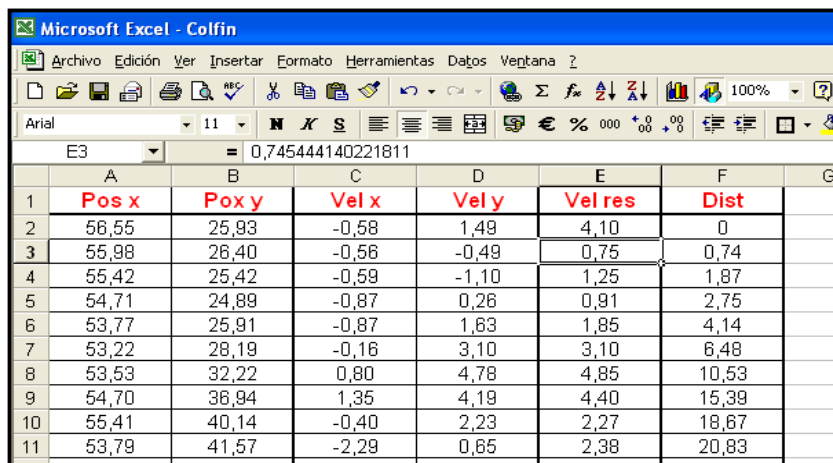
Cuando lo que se pretende conocer es el desplazamiento en intervalos definidos (por ejemplo 5, 15 o 45 min) se debe aplicar la misma fórmula de manera consecutiva para todas las posiciones que componen la secuencia temporal estudiada (300, 900 o 2.700 fotogramas, respectivamente).

$$\text{Distancia acumulada} = d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n$$

El programa BIOMECH permite obtener también la velocidad instantánea para cada uno de los deportistas digitalizados. A partir de las coordenadas reales de cada uno de los puntos y utilizando funciones polinómicas “spline” de quinto orden siguiendo el procedimiento descrito por Woltring (1985) genera un nuevo archivo en el que se muestra la velocidad instantánea de cada una de las coordenadas (v_x , v_y). Conocida la velocidad de cada punto en el eje x y en el eje y la velocidad resultante se puede determinar aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Velocidad Resultante} = \sqrt{(V_x)^2 + (V_y)^2}$$

Las anteriores variables son generadas por el programa BIOMECH e incluidas en un fichero en formato de hoja de cálculo (*.xyz). Este fichero (Figura 2.35) muestra los datos relativos a las coordenadas reales suavizadas ($Pos\ x$, $Pos\ y$), la velocidad lineal de cada una de las coordenadas ($Vel\ x$, $Vel\ y$), la velocidad resultante ($Vel\ res$) y la distancia acumulada ($Dist$) por cada uno de los puntos, respetando todos los pasos anteriormente descritos.



	A	B	C	D	E	F	G
	Pos x	Pox y	Vel x	Vel y	Vel res	Dist	
1							
2	56,55	25,93	-0,58	1,49	4,10	0	
3	55,98	26,40	-0,56	-0,49	0,75	0,74	
4	55,42	25,42	-0,59	-1,10	1,25	1,87	
5	54,71	24,89	-0,87	0,26	0,91	2,75	
6	53,77	25,91	-0,87	1,63	1,85	4,14	
7	53,22	28,19	-0,16	3,10	3,10	6,48	
8	53,53	32,22	0,80	4,78	4,85	10,53	
9	54,70	36,94	1,35	4,19	4,40	15,39	
10	55,41	40,14	-0,40	2,23	2,27	18,67	
11	53,79	41,57	-2,29	0,65	2,38	20,83	

Figura 2.35 Fichero de salida con los datos de las coordenadas suavizadas, velocidades instantáneas de los puntos, velocidad resultante y distancia acumulada.

Una vez conocida la velocidad instantánea de cada uno de los puntos (deportistas) a lo largo del tiempo de juego los desplazamientos se pueden clasificar en categorías tomando como referencia los criterios para definir los intervalos de velocidades expuestos en el apartado 2.1.2.2 y que, a modo de resumen, fueron:

- (a) **Estar parado:** Entre 0 y 1 m/s (menos de 3,6 km/h).
- (b) **Andar:** Entre 1,01 y 2 m/s (3,61-7,2 km/h).
- (c) **Trotar:** Entre 2,01 y 3,6 m/s (7,21-13 km/h).
- (d) **Correr:** Entre 3,61 y 5 m/s (13,01-18 km/h).
- (e) **Sprintar:** Más de 5,01 m/s (más de 18 km/h).

La suma de las categorías de correr y sprintar, es decir, los movimientos cuya velocidad excedía los 3,6 m/s se computaron a su vez como una categoría denominada “Ejercicio de alta intensidad”.

Además de la categorización de los desplazamientos en función su velocidad lineal todos los vídeos de los partidos fueron visualizados en diversas ocasiones para

clasificar los desplazamientos según el sentido de la locomoción empleada por los jueces. En el caso de los árbitros se tuvieron en consideración los movimientos realizados en forma de carrera de frente y de espalda mientras que en el caso de los árbitros asistentes se analizaron los desplazamientos en forma de carrera frontal y lateral.

Otra de las variables analizadas fue la distancia de los árbitros a las infracciones señaladas. Una vez obtenidas las coordenadas reales de la posición de ambos puntos (árbitro e infracción) con el programa BIOMECH la distancia entre ambos lugares se pudo calcular aplicando la fórmula anteriormente descrita para la distancia entre dos puntos cuyas coordenadas se conocen:

$$\text{Distancia entre el árbitro y la infracción} = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}$$

Para determinar la distancia de los árbitros asistentes a la línea del fuera de juego se calculó la distancia horizontal (eje x) desde la posición del árbitro asistente hasta la posición del penúltimo defensor, puesto que este jugador es el que delimita la correcta posición técnica de los árbitros asistentes durante el juego. Una vez obtenidas las coordenadas reales de ambos puntos la resta de las coordenadas en el eje x permitió la obtención de la distancia horizontal entre el árbitro asistente y la línea del fuera de juego.

$$\text{Distancia al Fuera de Juego} = x \text{ árbitro asistente} - x \text{ penúltimo defensor}$$

Todas las infracciones señaladas durante el juego (faltas y fueros de juego) fueron clasificadas atendiendo a dos criterios: el momento (tiempo) y la zona (espacio) en las cuales ocurrieron. En relación al tiempo las faltas se agruparon en intervalos de

15 min a lo largo de los dos períodos de juego (minutos 0 a 15, 16 a 30, 31 a 45, 46 a 60, 61 a 75 y 76 a 90) utilizando para ello el cronometraje del tiempo de juego del partido. En relación al espacio se utilizó como referencia la división del campo en zonas descrita en el apartado 2.1.2.2 (Figura 2.7).

2.1.4.3 Tratamiento estadístico

A la hora de realizar un trabajo científico, el investigador formula una o varias hipótesis. Estos planteamientos apriorísticos deben contraponerse a las hipótesis nulas, que se utilizan para contrastar la hipótesis verdadera. El rechazo de la o las hipótesis nulas exige al investigador definir de antemano qué tipo de técnicas estadísticas se van a emplear una vez obtenidos los resultados.

Durante un estudio experimental se pueden cometer dos tipos de errores (Thomas & Nelson, 2001). Un error de tipo I ocurre cuando se rechaza la hipótesis nula y esta es verdadera. Por el contrario el error de tipo II se ocasiona al no rechazar una hipótesis nula cuando esta es falsa. El nivel establecido antes de iniciar la investigación de α contribuye a controlar el error de tipo I. En este sentido una de las primeras consideraciones necesarias a adoptar en el presente trabajo fue el establecimiento del nivel de α en 0,05. Este nivel restringe la probabilidad de que ocurra un suceso por cuestión de azar a un 5%. La magnitud de error de tipo II se controla con β .

Tras el proceso de adquisición de los datos en la presente investigación se estableció un diseño estadístico que comprendía dos partes diferenciadas. En primer lugar se realizó un estudio descriptivo de cada una de las variables

analizadas para más tarde profundizar en las relaciones y diferencias existentes entre las distintas variables.

En el capítulo de Resultados dentro de la sección correspondiente a la Estadística Descriptiva (apartado 3.1) todos los datos se muestran como media $\pm$ desviación estándar de la media, indicándose entre paréntesis el rango de la medida. Por lo tanto la media se utiliza como un estadístico de tendencia central mientras que la desviación estándar y el rango se emplean para ver la variabilidad de las medidas.

Además el coeficiente de variación se empleó como una medida para estudiar la variabilidad de la respuesta motriz entre distintos sujetos; por ejemplo, la distancia recorrida por los dos árbitros asistentes que participaron en un mismo partido. Este estadístico se obtuvo al dividir la desviación estándar de las medidas entre la media de las mismas multiplicando el valor obtenido por 100 (Atkinson & Nevill, 1998).

$$\text{Coeficiente de Variación} = \left(\frac{ds}{media} \right) \times 100$$

La segunda parte del capítulo de Resultados (sección 3.2) muestra las relaciones y diferencias entre las variables previamente descritas. El coeficiente de correlación de Pearson (r) se utilizó para analizar la relación existente entre dos variables una de ellas dependiente (por ejemplo, la distancia total recorrida) y una independiente (el tiempo real de juego). Se determinó también si la relación individual entre dos variables era significativa así como el coeficiente de determinación (r^2) para interpretar la intensidad de la relación.

Para estudiar las diferencias entre grupos se emplearon pruebas de tipo t cuando se trataba de la comparación entre dos variables independientes mientras que se realizaron análisis de la varianza cuando la variable independiente tenía más de un nivel o bien cuando se utilizaban más de dos variables independientes.

Debido a las características de la investigación, la mayor parte de las pruebas realizadas comprendía la comparación de una variable dependiente sobre la misma muestra de sujetos en situaciones repetidas. De este modo cuando las comparaciones se realizaban sobre una variable independiente que constaba de dos niveles se realizaban pruebas de tipo t para muestras dependientes, por ejemplo, para contrastar distancia recorrida en el primer y segundo tiempo de los partidos.

En cualquier caso la situación habitualmente planteada era la existencia de una variable independiente con más de dos niveles (distancia recorrida en seis intervalos de 15 min durante el partido) o más de una variable independiente (dos períodos de juego y cinco categorías de esfuerzo). Es por ello que para establecer las diferencias entre los grupos se realizase un análisis de la varianza (ANOVA) con medidas repetidas sobre uno o dos de los factores.

Thomas & Nelson (2001) (basándose en Pedhazur, 1982) otorgan las siguientes ventajas a los diseños de medidas repetidas:

- (a) Proporcionan al experimentador la oportunidad de controlar las diferencias individuales entre participantes, probablemente la mayor fuente de variación en los estudios.

- (b) Este tipo de diseños requieren de un menor número de sujetos como muestra.
- (c) Permiten el estudio de un fenómeno a lo largo del tiempo.

Al mismo tiempo los propios Thomas & Nelson (2001) enumeran ciertos problemas que pueden ocurrir con los análisis de la varianza de medidas repetidas:

- (a) Efecto de arrastre. Los tratamientos iniciales pueden influenciar los tratamientos posteriores. Este aspecto está más ligado a los procesos de enseñanza.
- (b) Efecto de la práctica. Al repetir el análisis sobre una misma variable el sujeto puede aprender la respuesta y mejorar por ello y no necesariamente por el tratamiento.
- (c) Fatiga. La fatiga o el aburrimiento puede disminuir el rendimiento del participante en el estudio.
- (d) Sensibilización. El participante puede estar más alerta por el hecho de estar siendo sometido a distintas medidas.

Estos inconvenientes ligados a los diseños experimentales con medidas repetidas no muestran especial relevancia en la presente investigación. En concreto, debido a que los participantes no sabían que estaban siendo evaluados y que dicha evaluación se realizaba de un modo no invasivo, se eliminaban gran parte de los efectos anteriormente enunciados. El único efecto que tendría vigor es la fatiga, pero en este caso se convierte en una ventaja puesto que uno de los objetivos del trabajo de investigación era determinar si el rendimiento de los jueces se veía afectado por la fatiga a lo largo de los encuentros.

Respetando las consideraciones anteriores en el presente trabajo se plantearon distintos diseños de medidas repetidas. Así, por ejemplo, para comparar la distancia recorrida por los árbitros en cada una de las cinco categorías de esfuerzo establecidas de antemano (factor intra-sujetos con cinco niveles: estar parado, andar, trotar, correr y sprintar) en los dos períodos de juego (factor inter-sujetos con dos niveles: primer y segundo tiempo) se llevó a cabo un análisis de la varianza de dos factores (5x2) realizando las medidas repetidas sobre ambos factores (Figura 2.36).

Muestra: Árbitros (n=12)
Variable dependiente: Distancia recorrida
Variable independiente I: Categoría de esfuerzo (5 niveles)
Variable independiente II: Período de juego (2 niveles)

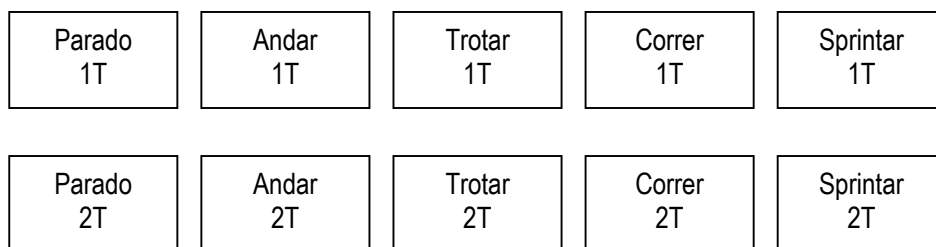


Figura 2.36 Diseño de un análisis de la varianza (5x2) con medidas repetidas sobre ambos factores.

En el caso de las comparaciones entre los dos grupos de jueces –árbitros y árbitros asistentes- para obtener los perfiles característicos del rendimiento de cada una de las muestras de deportistas se realizó también una análisis de la varianza con dos factores utilizando como variables independientes las categorías de esfuerzo (cinco niveles: estar parado, andar, trotar, correr y sprintar) y el grupo de jueces (dos niveles: árbitros y árbitros asistentes). En este caso las medidas repetidas se realizaban únicamente sobre el factor categorías de esfuerzo (Figura 2.37).

Muestra: Árbitros ($n=12$) y árbitros asistentes ($n=24$)

Variable dependiente: Distancia recorrida

Variable independiente I: Categoría de esfuerzo (5 niveles)

Variable independiente II: Grupo de deportistas (2 niveles)



Figura 2.37 Diseño de un análisis de la varianza (5x2) con medidas repetidas sobre el factor categorías de esfuerzo.

Profundizando en el ejemplo anterior el diseño de una ANOVA factorial 5x2 implicaría la existencia de dos efectos principales y de una interacción. Los efectos principales vienen dados por las pruebas realizadas sobre cada una de las variables independientes de manera aislada mientras que la interacción refleja la acción que una variable tiene sobre la otra.

A partir de este diseño se pueden obtener unos valores para el ratio de F para cada una de las variables independientes y para la interacción de ambas dividiendo la varianza verdadera obtenida para cada una de las partes entre la varianza de error. Cada uno de los valores de F obtenidos están asociados a unos grados de libertad debiéndose comprobar en las correspondientes tablas si alcanzan unos niveles significativos.

Los diseños de análisis de la varianza con medidas repetidas deben contemplar además el concepto de esfericidad. La esfericidad asume que las medidas repetidas que se ven transformadas por una serie de pesos ortonormales no están correlacionadas unas con otras y tienen varianzas iguales (Schutz & Gessaroli,

1987). Thomas & Nelson (2001) reflejan que si el diseño tiene un factor intra-sujetos se debe asumir la esfericidad de los datos, es decir, aceptar la igualdad de la matriz de varianzas-covarianzas. La manera en la que los datos asumen esta esfericidad se puede estimar por un estadístico denominado épsilon (ϵ) que puede oscilar entre 1,00 (cuando se cumple la condición, esfericidad perfecta) y 0,00 (cuando no se cumple). De nuevo Thomas & Nelson (2001) sugieren un valor mínimo de épsilon de 0,75 para los experimentos con medidas repetidas ya que el no asumir las condiciones de esfericidad repercutiría en un aumento del error de tipo I. En el caso de que la variable estudiada conste únicamente de dos niveles no se aplica a dicho factor la prueba de esfericidad puesto que con los dos niveles sólo existe una covarianza que es igual a sí misma (SPSS, 2005).

Aunque diversos autores como Davidson (1972), Harris (1985) o Morrow & Frankiewicz (1979) (todos en Thomas & Nelson, 2001) sugieren el empleo de técnicas multivariadas para llevar a cabo este tipo análisis Pedhazur (1982) (en Thomas & Nelson, 2001) afirma que cuando se asumen las condiciones anteriores las ANOVA con medidas repetidas son más poderosas que las pruebas multivariadas y que cuando el número de participantes es pequeño deben emplearse sólo las pruebas de ANOVA con medidas repetidas.

Todos los estudios estadísticos que implicaban el análisis de la varianza de medidas repetidas durante la investigación fueron llevados a cabo con el soporte informático "Statistical Package for the Social Sciences" (SPSS versión 11.5). Este programa permite, en su procedimiento de medidas repetidas, realizar la prueba de esfericidad de Mauchly (1940). En el caso de que el estadístico obtenido (W de Mauchly) induzca al rechazo de la hipótesis de esfericidad el propio programa permite obtener la estimación del valor de épsilon a partir de distintos

procedimientos matemáticos. Para cumplir con los objetivos de la presente investigación se optó por seleccionar la corrección de Greenhouse-Geisser para ajustar los grados de libertad cuando la prueba de Mauchly no permitía rechazar la hipótesis de esfericidad. De esta manera una vez obtenido el valor de F tras el análisis de la varianza para cada una de las variables el nivel significativo se comprobaba ajustando los grados de libertad según la corrección de Greenhouse-Geisser.

Una vez determinados los valores de F y ajustados los grados de libertad se pueden emplear pruebas *post-hoc* para determinar la dirección de las diferencias entre grupos. La mayoría de las pruebas empleadas para llevar a cabo este proceso (Scheffé, Newman-Keuls, Tukey, Duncan) están fundamentadas en la comparación dos a dos de las diferencias de las medias. La versión 11.5 del programa SPSS no permite al usuario efectuar comparaciones *post-hoc* entre los niveles de un factor intra-sujetos sobre el que se realizan las medidas repetidas aunque sí posibilita la comparación de los efectos principales utilizando la corrección de Bonferroni, que ajusta los intervalos de confianza de las medias.

En cualquier caso Thomas & Nelson (2001) sugieren que en los diseños de análisis de la varianza con dos factores la evaluación se lleve a cabo representando la interacción de manera gráfica y describiéndola. Esto es debido a que la mayoría de las pruebas *post-hoc*, como la de Scheffé, están fundamentadas en la comparación de las medias sobre niveles de una misma variable independiente y no con dos o más variables independientes, como ocurre mayoritariamente durante la presente investigación.

El tamaño del efecto (“Effect Size”) se pudo calcular a partir de la diferencia de las medias de los dos factores a comparar, aplicando la fórmula de Cohen (1969) (en Thomas & Nelson, 2001):

$$\text{Tamaño del efecto} = \frac{M_1 - M_2}{de}$$

siendo M_1 y M_2 la media de las dos muestras a comparar y de la desviación estándar calculada a partir de la siguiente fórmula (Thomas & Nelson, 2001):

$$de = \sqrt{\frac{s_1^2(n_1 - 1) + s_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2}}$$

en la que de representa la desviación estándar del conjunto, s_1^2 la desviación estándar del grupo 1, s_2^2 la desviación estándar del grupo 2, n_1 el número de participantes en el grupo 1 y n_2 el número de participantes del grupo 2. Thomas & Nelson (2001) interpretan el valor obtenido de manera que cuando el tamaño del efecto supera 0,8 se considera que es grande, cuando está en torno a 0,5 el efecto es moderado, mientras que cuando es de 0,2 o menor el efecto es pequeño.

Una vez definido si los efectos de las variables eran significativos y su tamaño se puede profundizar en el conocimiento de la intensidad de los efectos, es decir, la cantidad de la varianza de la variable dependiente que es consecuencia de cada una de las variables independientes y de su interacción. A partir de la fórmula de Tolson (1980) (en Thomas & Nelson, 2001) se pudo calcular la varianza (ω^2) para cada una de las partes del diseño estadístico:

$$\omega^2_A = \frac{(p-1)F_A - (p-1)}{(p-1)F_A + (q-1)F_B + (p-1)(q-1)F_{AB} + (N - pq) + 1}$$

$$\omega^2_B = \frac{(q-1)F_B - (q-1)}{(p-1)F_A + (q-1)F_B + (p-1)(q-1)F_{AB} + (N - pq) + 1}$$

$$\omega^2_{AB} = \frac{(p-1)(q-1)F_{AB} - (p-1)(q-1)}{(p-1)F_A + (q-1)F_B + (p-1)(q-1)F_{AB} + (N - pq) + 1}$$

donde p representa el número de niveles de A y q el número de niveles de B .

Para completar el análisis de cada uno de los factores que componían los diseños de medidas repetidas empleados en la investigación en el texto se muestran los valores de la potencia observada para cada medida calculados para un nivel de alpha de 0,05 utilizando para ello el programa SPSS versión 11.5.

2.1.5 Diseño de la investigación

2.1.5.1 Muestra

Durante el Campeonato del Mundo sub-17 de la FIFA -celebrado entre los días 13 y 30 de agosto de 2003 en Finlandia- se filmaron un total de doce encuentros pertenecientes a la primera fase de la competición, que incluían todos los celebrados en las sedes de Helsinki (Grupo A) y Lahti (Grupo D). Todos los jueces que participaron en la competición ($n=33$) fueron filmados como mínimo en una ocasión y, adicionalmente, un trío arbitral fue filmado una segunda vez (Tabla 2.2).

Tabla 2.2 Resumen de los árbitros y árbitros asistentes analizados cinemáticamente en los partidos del Mundial sub-17.

Fecha	Ciudad	Partido	Árbitro	Arbitro asistente 1	Arbitro asistente 2
13.08.2003	Helsinki	<i>Finlandia-China</i>	LOPES H. (BRA)	CORONA E. (BRA)	ROCHA A. (BRA)
13.08.2003	Helsinki	<i>Méjico-Colombia</i>	HANSSON M. (SUE)	ANDREN H. (SUE)	WITTBERG S. (SUE)
14.08.2003	Lahti	<i>Corea-EEUU</i>	MAYLLET E. (SEY)	MELLON R. (SEY)	DAMOO J. (SEY)
14.08.2003	Lahti	<i>España-S.Leona</i>	AL GHAMDI K. (ASA)	AL SHIHE M. (OMA)	GHULOUM E. (EAU)
16.08.2003	Helsinki	<i>China-Colombia</i>	PIPER R. (TRI)	GARWOOD A. (JAM)	MESSAM P. (BAH)
16.08.2003	Helsinki	<i>Finlandia-Méjico</i>	BRAAMHAAR E. (HOL)	BRINK A. (HOL)	CRYANS M. (ESC)
17.08.2003	Lahti	<i>EEUU.-S.Leona</i>	IRMATOV R. (UZB)	YACOB M. (MAS)	RAHMAN M. (BAN)
17.08.2003	Lahti	<i>Corea-España</i>	RODRÍGUEZ M. (MEJ)	MORA E. (CRC)	PASTRANA C. (HON)
19.08.2003	Helsinki	<i>China-Méjico</i>	DAMON J. (RSA)	MOLEFE T. (RSA)	JIBILIZA S. (RSA)
19.08.2003	Helsinki	<i>Colombia-Finlandia</i>	BRAZENAS G. (ARG)	CAGNI S. (ARG)	CALDERON J. (BOL)
20.08.2003	Lahti	<i>S.Leona-Corea</i>	RAKARO I. L. (FIJ)	VUKE G. (VAN)	TAUAROA D. (TAH)
20.08.2003	Lahti	<i>EEUU-España</i>	LOPES H. (BRA)	CORONA E. (BRA)	ROCHA A. (BRA)

Los once árbitros que participaron en el evento tenían una edad media de $33,36 \pm 3,75$ años (rango: 26-38), una estatura media de $182,64 \pm 6,99$ cm (170-194), un peso corporal medio de $80,82 \pm 11,08$ kg (61-90) y una media de $1,82 \pm 0,98$ años (1-4) de experiencia como árbitros internacionales (catalogados así por la FIFA).

El grupo de árbitros asistentes que participaron en la competición ($n=22$) presentaban una edad media de $34,0 \pm 2,93$ años (rango: 27-38), una estatura media de $175,77 \pm 7,32$ cm (163-193) y un peso corporal medio de $73,32 \pm 7,95$ kg (60-93). Al igual que sucedía con los árbitros, todos los árbitros asistentes tenían la categoría internacional otorgada por la FIFA, con una experiencia media de $2,73 \pm 1,64$ años (1-6) a este nivel.

La edad de los participantes se calculó mediante la sustracción de la cifra decimal de la fecha de nacimiento del sujeto de la cifra decimal de la fecha en la que se iniciaba el torneo (Baxter-Jones *et al.*, 1995). Este dato se redondeó hasta 0,01 años. La estatura y peso corporal de los árbitros y árbitros asistentes se registró durante la semana anterior al inicio de la competición. Todas las medidas tuvieron lugar en el gabinete médico de la organización siendo el encargado de realizarlas el jefe del servicios médicos de la FIFA para los árbitros. La estatura se registró hasta el milímetro más cercano utilizando un estadiómetro Harpenden (Holtain Ltd, Crosswell, Reino Unido). Para lograr la máxima precisión en la medida ésta se llevó a cabo en dos ocasiones y se calculó el promedio de los datos. La media aritmética entre las dos mediciones para la estatura tuvo un valor de 0,04 cm. El peso corporal se midió con una precisión de 100 gr en una báscula electrónica Soehnle (Soehnle, Bonn, Alemania).

2.1.5.2 Protocolo

Al haberse desarrollado la investigación en una competición deportiva del máximo nivel se estableció un protocolo experimental estricto que fue necesario respetar durante todas las jornadas en las que se filmaron los partidos.

Una competición como la actual, un Mundial de fútbol de la categoría sub-17, lleva tras de sí una enorme complejidad organizativa. A modo de ejemplo, el partido inaugural del evento contó con una asistencia de 14.000 espectadores y a él acudieron las máximas autoridades políticas de Finlandia y del fútbol mundial. La señal televisiva del torneo fue retransmitida a todo el mundo a través del canal “Eurosport” al tiempo que varias televisiones nacionales, entre ellas Televisión Española, retransmitieron en directo los partidos de las selecciones propias.

Para garantizar la máxima calidad en el desarrollo del Mundial la organización establece una serie de restricciones a la hora de utilizar determinadas zonas del estadio, bien por motivos de seguridad o bien para facilitar el acceso a las mismas a personas destacadas, patrocinadores o colaboradores. Una investigación como la presente en la que resulta necesario colocar tres cámaras de vídeo para filmar los partidos puede suponer, de entrada, una fuente de temor tanto para la organización como para la empresa que ha adquirido los derechos audiovisuales de la competición. Gracias al apoyo logístico prestado por la FIFA el acceso a los estadios del equipo de investigación se facilitó en horas en el que el mismo se hallaba cerrado al público, con lo cual se pudieron cumplimentar todos los requisitos previos que exige la técnica experimental de la fotogrametría en dos dimensiones.

Como los partidos se celebraban habitualmente en las primeras horas de la tarde, durante la mañana del día del partido el equipo de trabajo se trasladaba a los estadios para determinar el lugar en el cual ubicar las cámaras. Para ello se seleccionaba un lugar elevado sobre la tribuna principal del graderío, asegurando que desde el mismo se obtuviese una visión óptima del terreno de juego, que no hubiese ningún elemento que pudiese interponerse entre la cámara y el campo y que fuese una zona estable, es decir, que la cámara no estuviese expuesta a movimientos durante el proceso de filmación. Cada una de las cámaras se ubicaba separada de la anterior de tal manera que filmaban zonas adyacentes del terreno de juego. Con esta distribución del equipamiento se conseguía abarcar la totalidad del terreno de juego y se garantizaba una adecuada calidad de las imágenes para poder cumplimentar los objetivos de la investigación

Una vez determinado el lugar de colocación de las cámaras y regulada la altura de los trípodes se procedía a ajustar el enfoque de las ópticas. Para realizar este proceso dos de los miembros del equipo de investigación permanecían operando las cámaras y el tercer miembro se desplazaba por la línea de banda del terreno de juego hasta delimitar un lugar que fuese visto por dos de las cámaras. En este punto se colocaba un marcador visual, ya que este punto se utilizaría posteriormente como parte del sistema de calibración de las imágenes. Este mismo procedimiento se seguía con las otras dos cámaras para establecer otro nuevo punto de unión entre las cámaras colocadas de manera adyacente.

Cuando el campo de filmación de cada cámara había quedado definido se terminaba de configurar las ópticas de las mismas: obturación, diafragma, etc. Utilizando los adaptadores específicos dos de las cámaras eran conectadas a la red eléctrica mientras que la tercera funcionaba con baterías ya que no tenía cerca

ninguna toma de tensión. A la conclusión de este proceso las cámaras no podían ser movidas y debían permanecer fijas durante toda la filmación (requisito imprescindible de esta técnica experimental).

Finalizada la fase de ubicación y preparación de las cámaras la siguiente fase del protocolo era la de la filmación del sistema de calibración. La fotogrametría en dos dimensiones exige la utilización de, como mínimo, cuatro puntos para calibrar el espacio aunque en la investigación actual se tomaron como referencia seis puntos reales que se podían ver en cada una de las cámaras. Estos puntos formaban parte de las líneas de banda y de fondo del campo. Con una cinta métrica se midieron cada uno de estos puntos sobre el terreno de juego (Figura 2.38) determinándose la distancia entre cada uno de ellos y se filmaron por las tres cámaras.



Figura 2.38 Medición sobre el terreno de juego de los puntos de referencia que formaban el sistema de calibración para cada cámara.

Estas dos primeras partes del proceso debían concluirse como mínimo dos horas antes de la hora fijada para el inicio de los partidos, para no interferir en el protocolo

de la organización para el desarrollo del encuentro que incluía la inspección del campo por parte de los equipos participantes, el trío arbitral y los delegados de la FIFA, la realización de los ejercicios de calentamiento y la interpretación de los himnos nacionales. Por ello desde la filmación del sistema de calibración hasta el inicio de los partidos cada miembro del equipo de trabajo se encargaba de vigilar cada una de las cámaras para asegurar que no eran movidas bajo ninguna circunstancia.

Unos segundos antes de iniciarse los partidos, tras el sorteo de campos inicial, se iniciaba la filmación de los mismos con las cámaras. En los intermedios de los partidos se sustituyeron las cintas y las baterías de la cámara que no estaba conectada a la red eléctrica, evitando el movimiento de las mismas, para así no tener que interrumpir el proceso de filmación en los segundos períodos de juego.

La fase de registro de datos fue realizada entre los días 13 y 20 de agosto de 2003 en Finlandia mientras que las siguientes fases del trabajo de investigación se llevaron a cabo en el Laboratorio de Biomecánica de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de Madrid a partir del mes de septiembre de 2003.

La primera actividad llevada a cabo en el Laboratorio de Biomecánica consistió en la visualización de las películas para asegurar que la calidad de las imágenes se ajustaba a los objetivos de la investigación. Más adelante cada una de las 72 cintas filmadas (12 partidos x 6 cintas en cada partido) fueron capturadas a ordenador utilizando la tarjeta capturadora FAST-FORWARD y convertidas a ficheros gráficos con el programa ADOBE PREMIERE 6.0.

Durante los siguientes meses se continuó con el procesamiento de los datos. Primero las imágenes obtenidas por las tres cámaras eran sincronizadas, almacenadas con la extensión *.jpg y posteriormente digitalizadas utilizando el programa PHOTO23D. Una vez digitalizados la totalidad de los partidos y los sistemas de calibración para cada una de las cámaras, con el programa BIOMECH se obtuvieron las coordenadas reales para cada uno de los puntos, que recibían un tratamiento matemático y, siguiendo el procedimiento descrito en anteriores apartados, se obtuvieron las variables de estudio pretendidas. El tratamiento estadístico de las variables cinemáticas permitió obtener los resultados que serán expuestos en el siguiente capítulo del trabajo de investigación.

La Figura 2.39 representa de un modo esquemático los pasos fundamentales de la presente técnica experimental. Todas las etapas que exige la fotogrametría en dos dimensiones han sido descritas en profundidad en las páginas anteriores, por lo que la siguiente ilustración pretende mostrar una visión integral de todo el proceso como resumen final del procedimiento seguido para el análisis de la participación de los árbitros y de los árbitros asistentes durante los partidos.

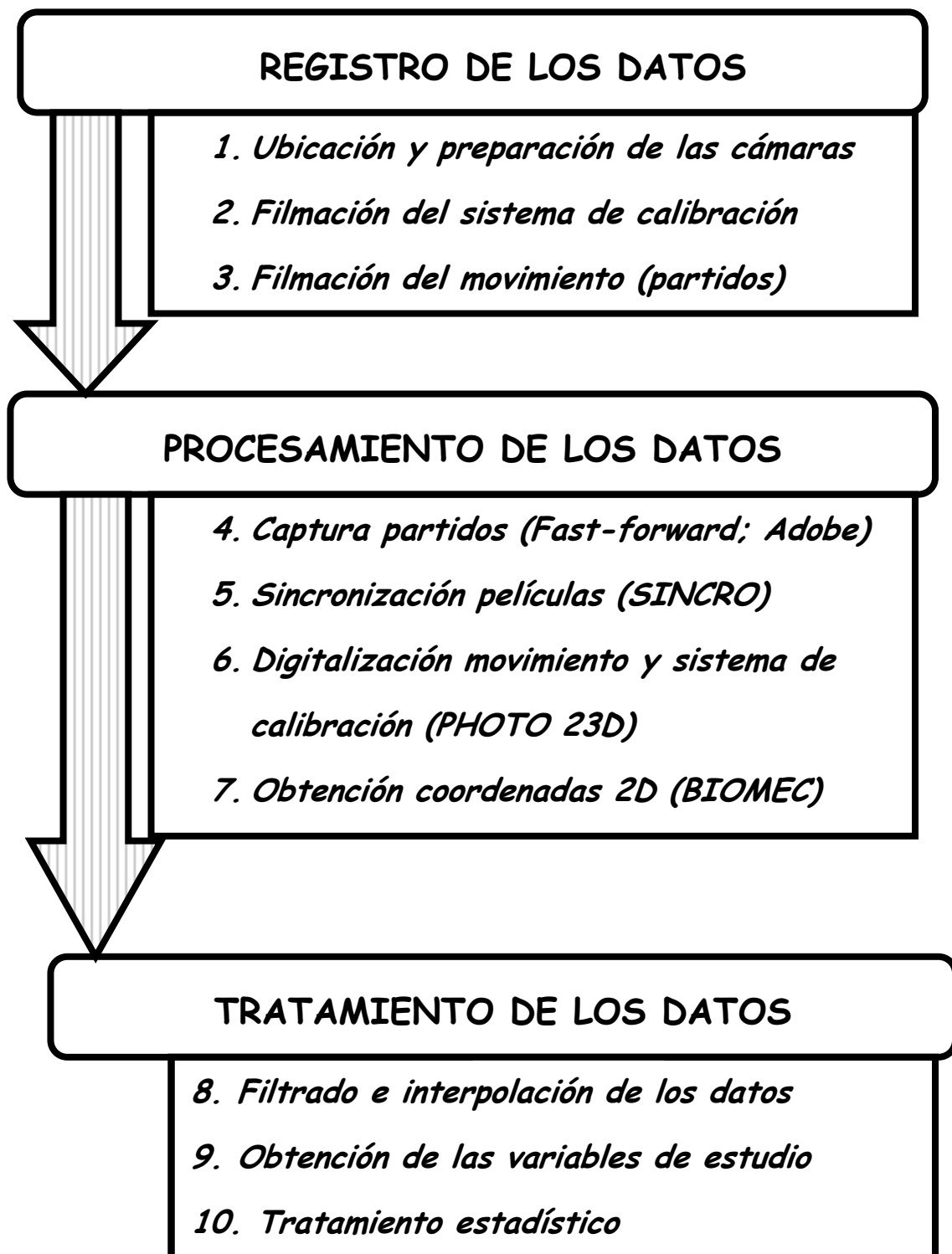


Figura 2.39 Representación esquemática de los pasos seguidos para el análisis del juego en la presente investigación.

2.2 Análisis de la respuesta fisiológica durante la competición

2.2.1 Introducción

Tal y como se hizo referencia en la Introducción del trabajo de investigación (sección 1.1), para poder profundizar en el conocimiento de las exigencias que supone la competición en el fútbol se requiere realizar una aproximación multidisciplinar. Es por ello que esta sección del capítulo 2 Material y Métodos está enfocado a la descripción de las técnicas de monitorización fisiológica que contribuyen a caracterizar la respuesta de los árbitros y árbitros asistentes durante el juego.

La fisiología se suele definir como “la ciencia que se encarga del estudio de los procesos biológicos que intervienen en la vida y en la reproducción de una especie animal o vegetal” (Meyer, 1985). El objetivo de la fisiología es, por lo tanto, la explicación del funcionamiento de los seres vivos.

El origen etimológico del término fisiología se remonta a autores clásicos de la filosofía como Aristóteles (384-322 a.C.), en el intento por estudiar el funcionamiento del cuerpo humano, aunque Fox (2003) considera a Erasistrato (304-250? a.C.) como el “padre” de la fisiología por sus estudios sobre la influencia de la aplicación de las leyes físicas en la función de los organismos. Otros autores clásicos como Hipócrates (460-377 a.C.) y Galeno (130-201) contribuyeron con sus estudios al conocimiento del cuerpo humano, mostrándose un interés similar en

civilizaciones como la egipcia, china e india, enfocando los estudios hacia la prevención de las enfermedades y el restablecimiento de la salud (Gal *et al.*, 2001).

En el Renacimiento los estudios del médico inglés Harvey (1578-1657) sobre la función del corazón y del aparato circulatorio facilitaron el desarrollo de las técnicas experimentales en la fisiología. La posibilidad de utilizar los avances tecnológicos e informáticos dentro de la medicina así como el desarrollo de la genética molecular han tenido un papel decisivo en la proliferación de estudios en el siglo XX, siendo necesario destacar la figura de Bernard (1813-1878) por la nueva dimensión adquirida por la fisiología a partir de sus estudios (Fox, 2003).

Para poder profundizar en el estudio de la actividad biológica de los organismos resulta necesario hacer referencia a una serie de interrelaciones dinámicas que existen entre las células, los tejidos y los órganos, hasta llegar finalmente al nivel del organismo como un todo (West, 1993).

Esta organización del cuerpo humano en niveles muestra una ordenación jerárquica (Figura 2.40) de manera que cada nivel refleja una complejidad creciente en relación con el que le antecede al incorporar aspectos del anterior (Gal *et al.*, 2001). Al primero de estos niveles se le suele denominar como nivel químico ya que incorpora las partículas más sencillas que son los átomos, y cuya asociación permite la síntesis de moléculas orgánicas e inorgánicas.

Dentro de estos niveles de organización del cuerpo humano se considera a la célula como la unidad funcional básica (Guyton, 1987) y son éstas las que determinan el nivel celular. Cuando un conjunto de células tienen una estructura y función similares se agrupa formando tejidos con una especialización funcional dada. Los

tejidos pueden ser de cuatro tipos: epitelial, conectivo o conjuntivo, muscular y nervioso.

El siguiente nivel de organización de los seres vivos son los órganos (como el corazón, el hígado, etc.) que son un conjunto de tejidos especializados en cumplir funciones específicas. La unión de diferentes órganos entre sí para la realización de funciones superiores, más complejas y específicas, da lugar a los sistemas de órganos (Gal *et al.*, 2001). Para que el organismo pueda llevar a cabo este tipo de tareas dispone de distintos sistemas fisiológicos como pueden ser el digestivo, respiratorio, reproductor, cardiovascular, nervioso, endocrino, metabólico, excretor, músculo-esquelético, etc. Cada uno de estos aparatos o sistemas juega un papel fundamental a la hora de mantener un estado de homeostasis en el ser vivo.

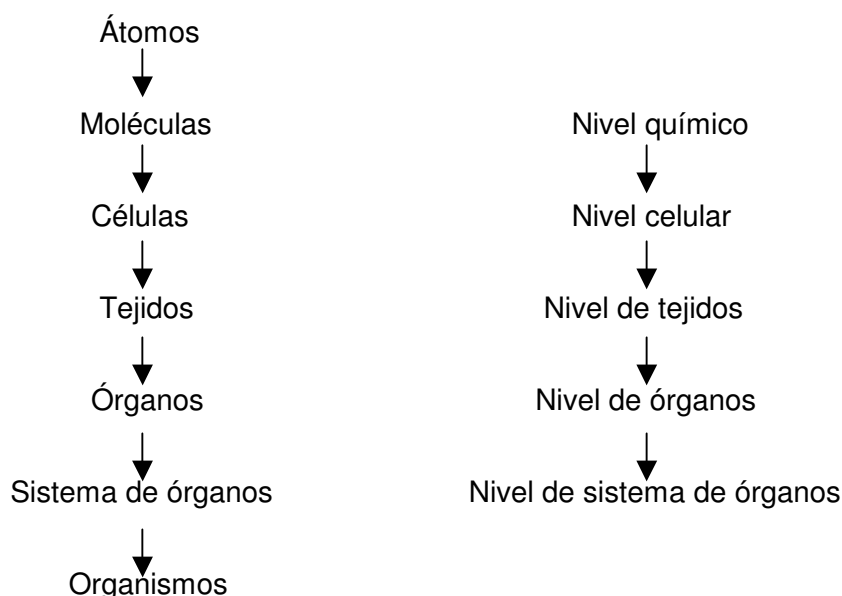


Figura 2.40 Niveles de organización del cuerpo humano. (Basado en Gal *et al.*, 2001).

2.2.2 Modelo teórico

Cada uno de los sistemas orgánicos expuestos en el apartado anterior tiene una función específica dentro del ser humano. El sistema cardiovascular forma parte del sistema de aporte de oxígeno a los tejidos y permite la llegada de la sangre –que transporta el oxígeno ligado a la hemoglobina de los eritrocitos principalmente- y la eliminación de las sustancias de desecho.

Para asegurar el aporte de oxígeno a los tejidos el corazón bombea una cantidad de sangre por unidad de tiempo que se conoce como gasto cardiaco y se expresa en litros por minuto. El gasto cardiaco depende de dos factores: el volumen sistólico o volumen de eyección que representa la cantidad de sangre expulsada en cada latido y la frecuencia cardiaca que corresponde al número de veces que se contrae el corazón por unidad de tiempo.

$$\text{Gasto cardiaco} = \text{Volumen sistólico} \times \text{Frecuencia cardiaca}$$

Durante la realización de un ejercicio físico el organismo reacciona realizando una serie de ajustes que provocan un aumento del gasto cardiaco para satisfacer la mayor demanda energética que supone la actividad. Este incremento se puede lograr a partir del volumen sistólico o bien a través de la contracción del corazón a un ritmo más rápido.

El incremento del volumen sistólico durante la realización de un ejercicio se realiza principalmente a intensidades moderadas ya que a partir de una intensidad del 40% del consumo máximo de oxígeno el aumento del gasto cardiaco se logra por medio de la frecuencia cardiaca (Figura 2.41). Los sujetos entrenados aeróbicamente

logran unas adaptaciones orgánicas que les hacen aumentar su volumen sistólico de manera que, para una misma intensidad de esfuerzo, requieren de una frecuencia cardiaca menor para producir idéntico gasto cardiaco.

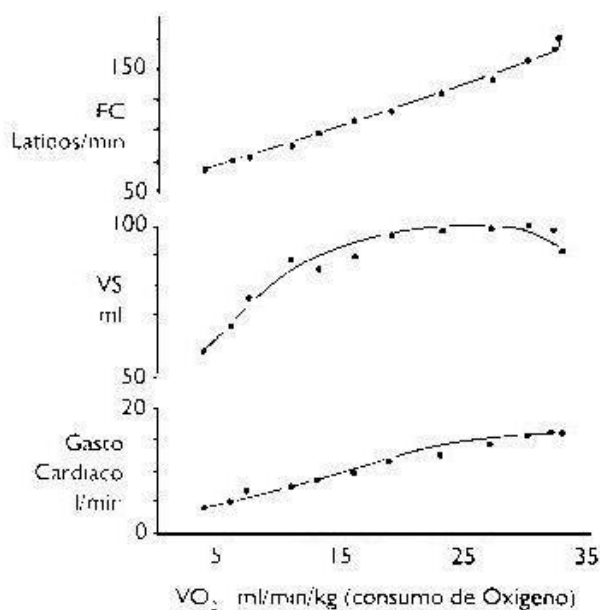


Figura 2.41 Respuesta de los parámetros cardíacos ante un ejercicio de intensidad creciente. (Figura tomada de López Chicharro & Legido, 1991).

Se han desarrollado distintos métodos para determinar el gasto cardiaco de manera experimental. Los procedimientos directos únicamente se han empleado con animales de experimentación mientras que, para la determinación del gasto cardiaco de una manera indirecta, se han utilizado métodos basados en la dilución de un colorante, la termodilución o el empleo del principio de Fick (Calderon, 1996). Estos tres tipos de procedimientos indirectos resultan imposibles de aplicar dentro de una situación deportiva pues su carácter invasivo afectaría al rendimiento del deportista.

Por este motivo, debido a la facilidad que supone su registro se utiliza en la actualidad el parámetro de la frecuencia cardiaca como un indicador indirecto de la actividad cardiovascular del sujeto. Ésta suele mostrar una respuesta lineal con el consumo de oxígeno durante el ejercicio en un amplio rango de intensidades (Astrand & Rodahl, 1986; Figura 2.41) aunque cuando las intensidades son muy bajas o muy altas la relación pierde la linealidad. De igual modo, cuando se producen cambios repentinos en la intensidad de los esfuerzos, la respuesta de la frecuencia cardiaca no se produce de manera inmediata sino que lleva un cierto retraso temporal (Achten & Jeukendrup, 2003).

Existen, por lo tanto, ciertas reticencias metodológicas sobre la aceptación de la relación lineal entre la frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno obtenida en laboratorio y su posterior aplicación al deporte del fútbol, en el que el deportista realiza esfuerzos con una intensidad oscilatoria. Al ser el fútbol un ejercicio de tipo intermitente podría suceder que la frecuencia cardiaca aumentase de una manera desproporcionada frente al consumo de oxígeno (Balsom, 1991; Tumilty, 1992; ambos en Tumilty, 1993) que es el parámetro habitualmente empleado para caracterizar la intensidad del ejercicio. Además, resulta necesario recalcar que la frecuencia cardiaca no actúa únicamente como reflejo del stress aeróbico sobre el deportista sino que también se ve afectada por factores psicológicos o ambientales (Tumilty, 1993). Carli *et al.* (1986) observaron variaciones en el comportamiento de algunos parámetros hormonales (ACTH, cortisol, HGH, prolactina) durante un partido de fútbol. Este tipo de variaciones hormonales en los deportistas podría originar alteraciones en las capacidades fisiológicas y psicológicas.

Bangsbo (1994a) expone las restricciones otorgadas tradicionalmente al significado y utilidad del registro de la frecuencia cardiaca durante el juego del fútbol y opone

un razonamiento metodológico que justificaría la monitorización de este parámetro durante la práctica del fútbol:

- (a) La frecuencia cardiaca no siempre refleja el consumo actual de oxígeno ya que se eleva por encima de la relación normal frecuencia cardiaca-consumo de oxígeno en ejercicios que impliquen contracciones estáticas, durante ejercicios con pequeños grupos musculares o durante estados emocionales o de stress térmico. A estos argumentos Bangsbo (1994a) contrapone que en el fútbol la sobre-estimación del consumo de oxígeno por estos factores es probablemente menor porque al ser un ejercicio dinámico en el que participan grandes grupos musculares la intensidad del ejercicio es relativamente alta, lo que haría disminuir también el efecto del stress emocional.
- (b) La relación entre la frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno se suele calcular a partir de ejercicios continuos submáximos en tapiz distintos a la naturaleza del fútbol que implica esfuerzos intermitentes. Al comparar en el tapiz esfuerzos continuos con ejercicio intermitente que alternaban entre alta y baja intensidad (15 y 10 segundos respectivamente) Bangsbo (1994c) observó la misma relación entre el consumo de oxígeno y la frecuencia cardiaca después de un alto rango de series de trabajo. Esto hace pensar que los resultados obtenidos en un test submáximo continuo en tapiz son válidos también para ejercicios intermitentes y, posiblemente, también para el propio fútbol.
- (c) Se ha sugerido que la frecuencia cardiaca aumenta después de los sprints de forma desproporcionada a como lo hace el consumo de oxígeno (Balsom *et al.*, 1991, en Bangsbo, 1994c). En el fútbol los sprints ocurren durante menos del 1% del tiempo total de juego lo que haría que en muy pocas fases del mismo la relación frecuencia cardiaca-consumo de oxígeno no pudiese ser empleada.

Por lo tanto, para cada individuo la frecuencia cardiaca estaría relacionada con el consumo de oxígeno obtenido en condiciones ambientales similares y a condición de utilizar masas musculares semejantes. De este modo la monitorización de la frecuencia cardiaca durante la práctica deportiva podría servir como un indicador de la carga circulatoria total impuesta sobre el cuerpo (Reilly, 1990) y su registro permitiría la cuantificación de la intensidad de la mayoría de las sesiones de entrenamiento llevadas a cabo por los deportistas (Impellizzeri *et al.*, 2004b).

Durante los partidos de fútbol los árbitros realizan ejercicio intermitente de larga duración por lo que se suele emplear el parámetro **frecuencia cardiaca media** (FC_{med}) como una variable para caracterizar la intensidad que supone el ejercicio realizado. Este valor se puede obtener al dividir el número total de contracciones del corazón entre el tiempo en el que se realiza el ejercicio. El resultado obtenido se expresa en forma de pulsaciones por minuto.

Otro parámetro empleado para contribuir a la descripción del esfuerzo realizado es el de la **frecuencia cardiaca máxima** ($FC_{máx}$) que representa el máximo valor de frecuencia cardiaca registrado por intervalo de medida. Es decir, este parámetro representa la máxima sollicitación cardiaca experimentada durante el período de registro analizado.

Tanto la FC_{med} como la $FC_{máx}$ registradas durante el juego representan valores absolutos que sirven para clarificar las demandas individuales experimentadas por cada deportista. Para facilitar la comparación de distintos deportistas entre sí resulta necesario obtener variables relativas, es decir, expresar los datos de forma porcentual eliminando la influencia que factores como la edad o el estado de entrenamiento pudieran tener sobre los valores absolutos.

Para poder llevar a cabo este proceso resulta necesario determinar la frecuencia cardiaca máxima de cada deportista. El método habitual para lograr este parámetro se basa en la realización de una prueba de intensidad máxima hasta el agotamiento en laboratorio o en campo, registrando el máximo valor de frecuencia cardiaca logrado durante la misma. Como la realización de este tipo de pruebas no es siempre posible se han propuesto fórmulas que permiten la estimación de dicho valor (Astrand, & Rodahl, 1977, en Catterall *et al.*, 1993) y que han sido aplicadas en distintos estudios realizados en el deporte del fútbol (Catterall *et al.*, 1993; Johnston & McNaughton, 1994; Bangsbo, 1994b; D'Ottavio & Castagna, 2001a):

$$FC_{m\acute{a}x} \text{ teórica} = 220 - \text{Edad del sujeto en años}$$

El empleo de esta fórmula con poblaciones de deportistas de edad avanzada puede estar cuestionado, puesto que en estudios longitudinales se ha demostrado (Astrand & Rodahl, 1986) una amplia dispersión individual en la disminución de la frecuencia cardiaca como consecuencia de la edad. Es por ello que para emplear la fórmula anterior sea necesario aplicar un factor corrector ya que si no puede exagerarse el efecto de la edad.

En ocasiones los valores de $FC_{m\acute{a}x}$ logrados en los partidos superan los alcanzados durante las pruebas en laboratorio (Helsen & Bultynck, 2004). Estos autores comprobaron como la fórmula *220-edad* se aproxima como media a la $FC_{m\acute{a}x}$ de cada árbitro aunque pudieron observar diferencias individuales. Como media Helsen & Bultynck (2004) tasaron la diferencia entre la $FC_{m\acute{a}x}$ registrada durante el juego y la que le correspondería por edad en 1 p/min para los árbitros y en 3 p/min para los árbitros asistentes.

Siguiendo los criterios empleados por Helsen & Bultynck (2004) y Weston *et al.* (2004) en sus trabajos realizados con jueces, en la presente investigación se realizó una estimación de la $FC_{m\acute{a}x}$ de los deportistas a partir de la fórmula *220-edad* que fue corregida con los datos máximos obtenidos durante los partidos, las sesiones de entrenamiento y las pruebas de valoración de la condición física en las que los jueces utilizaron los pulsómetros. En relación a los datos de los partidos, entrenamientos y pruebas físicas se utilizó el segundo pico máximo de frecuencia cardiaca para así evitar un posible error en el registro de los datos (Weston *et al.*, 2004).

Una vez que se conoce el valor de la $FC_{m\acute{a}x}$ para cada deportista la frecuencia cardiaca media y máxima registrada durante el juego se pueden expresar de una forma relativa.

$$\% FC_{med} = \frac{FC_{medpartido}}{FC_{m\acute{a}x}}$$

$$\% FC_{m\acute{a}x} = \frac{FC_{m\acute{a}xpartido}}{FC_{m\acute{a}x}}$$

En cualquier caso la expresión de la intensidad como un valor promedio de los 90 min del partido puede derivar en la pérdida de una cierta cantidad de información específica sobre las demandas del juego (Helgerud *et al.*, 2001). Esto hace necesaria la utilización de otra serie de parámetros que ayuden a extraer información relevante sobre los valores de frecuencia cardiaca registrados durante el juego como podría ser el análisis del tiempo en el que el deportista está en distintos rangos de frecuencia cardiaca. Con este fin, en el presente trabajo, la frecuencia cardiaca fue agrupada en los siguientes intervalos de pulsaciones:

- (a) Menos de 110 p/min.
- (b) Entre 111 y 130 p/min.
- (c) Entre 131 y 150 p/min.
- (d) Entre 151 y 170 p/min.
- (e) Más de 171 p/min.

Estos mismos datos se pueden expresar también en términos relativos, es decir, en función de porcentajes establecidos sobre la $FC_{\text{máx}}$ teórica de cada deportista. Siguiendo a Helsen & Bultynck (2004) y Weston *et al.* (2004) se establecieron las siguientes intensidades relativas de los esfuerzos aunque en el trabajo actual se substituyó el nombre de baja por el de media intensidad para los esfuerzos que solicitaban entre el 76 y 85% de la $FC_{\text{máx}}$.

- (a) **Recuperación pasiva:** Tiempo empleado por debajo del 65% de la $FC_{\text{máx}}$.
- (b) **Recuperación activa:** Tiempo empleado entre el 65 y 75% de la $FC_{\text{máx}}$.
- (c) **Media intensidad:** Tiempo empleado entre el 76 y 85% de la $FC_{\text{máx}}$.
- (d) **Alta intensidad:** Tiempo empleado entre el 86 y 95% de la $FC_{\text{máx}}$.
- (e) **Máxima intensidad:** Tiempo empleado por encima del 96% de la $FC_{\text{máx}}$.

A modo de resumen la Tabla 2.3 recoge todas las variables objeto de estudio en la presente sección de la investigación.

Tabla 2.3 Resumen de las variables fisiológicas objeto de estudio en la investigación.

Variables dependientes	Variables independientes
FC_{med} (% $FC_{máx}$)	- 90 min - Cada 45 min - Cada 15 min
$FC_{máx}$ (% $FC_{máx}$)	- 90 min - Cada 45 min - Cada 15 min
Distribución en intervalos absolutos: Menos de 110 p/min Entre 111-130 /min Entre 131-150 p/min Entre 151-170 p/min Más de 170 p/min	- 90 min - Cada 45 min
Distribución en intervalos relativos: Recuperación pasiva (<65% $FC_{máx}$) Recuperación activa (65-75% $FC_{máx}$) Media intensidad (76-85% $FC_{máx}$) Alta intensidad (86-95% $FC_{máx}$) Máxima intensidad (>96% $FC_{máx}$)	- 90 min - Cada 45 min

2.2.3 Técnicas de adquisición de los datos

2.2.3.1 Monitorización del ritmo cardiaco

Los primeros registros de la frecuencia cardiaca de los pacientes se realizaban de una manera rústica, con la palpación manual o auricular de las pulsaciones que tenía el sujeto en un intervalo de tiempo definido hasta que hace unos 200 años René Laennec desarrolló el estetoscopio, aparato que facilitaba la auscultación del ritmo cardiaco de las personas (Acthen & Jeukendrup, 2003).

Durante la contracción del músculo cardíaco ocurren una serie de fenómenos fisiológicos que dan lugar a la generación de una señal eléctrica. Al igual que sucede con el resto de músculos del cuerpo humano la contracción muscular se caracteriza por una alteración del potencial de membrana de reposo de las células hasta llegar a una intensidad umbral que produce un potencial de acción. Estos potenciales de acción están asociados a las bombas de sodio/potasio y al movimiento de iones de uno a otro lado de las membranas fibrilares.

En el caso del corazón los potenciales de acción se originan de una manera rítmica en el nodo sinoauricular situado en la aurícula derecha. Esta configuración permite que, cuando se estimula la masa muscular de las aurículas, el potencial de acción generado se extiende mediante una serie de tejidos conectores (formados por células miocárdicas especializadas: nódulo aurículo-ventricular, haz de His, red de Purkinje) por ambas aurículas, propiciando la contracción de las mismas y la expulsión de la sangre hacia los ventrículos. En la siguiente fase, cuando el potencial de acción se extiende hacia los ventrículos, éstos se contraen y la sangre se propela hacia la circulación mayor y menor (Guyton, 1987).

El potencial de acción generado durante la contracción del corazón se transmite a modo de impulso. Los líquidos de los tejidos que rodean al corazón presentan una elevada concentración de iones que se mueven generando una corriente como consecuencia de las diferencias de potencial. Parte de esta corriente eléctrica es conducida hacia la superficie del cuerpo. Para poder detectar estos impulsos eléctricos en la superficie corporal se han desarrollado distintas técnicas experimentales siendo la primera de ellas la descrita por el doctor holandés Willen Einthoven en 1903, que utilizó un galvanómetro para registrar los voltajes generados durante cada latido del corazón.

El método más habitual para el registro de la actividad eléctrica del corazón consiste en el empleo de unos aparatos denominados electrocardiógrafos. Mediante la colocación de una serie de electrodos en la superficie de la piel se pueden registrar los cambios de voltaje, al mismo tiempo que una aguja traza una gráfica sobre un papel milimetrado, fotográficamente o sobre la pantalla de un tubo de rayos catódicos (osciloscopio). La realización de un electrocardiograma puede tener distintas finalidades dentro de la práctica médica como la detección de crecimientos de las cavidades cardíacas, el estudio del latido del corazón y sus posibles alteraciones o la correcta actividad de las cuatro cavidades del corazón. El electrocardiograma se compone de tres secciones: una onda P (que mide la despolarización de la aurícula), una onda QRS (que representa la despolarización de los ventrículos) y finalmente una onda T (que ocurre durante la fase de repolarización de los ventrículos).

En los estudios iniciales las exploraciones de la frecuencia cardíaca debían realizarse en situaciones de reposo del paciente, aunque después de la invención del electrocardiógrafo se desarrollaron los monitores Holter que permitían un registro de la frecuencia cardíaca con el sujeto en movimiento. Este tipo de sistema almacena durante un largo período de tiempo (24 horas) el registro electrocardiográfico del corazón. Hoy en día este sistema se utiliza más para el diagnóstico de patologías cardíacas que en el ámbito del deporte de rendimiento aunque los primeros estudios para registrar la frecuencia cardíaca durante la práctica del fútbol utilizaron este tipo de sistemas de telemetría portátiles. Así Van Gool *et al.* (1983) utilizaron en futbolistas un receptor de seis canales para registrar la frecuencia cardíaca en intervalos de 15 s durante partidos amistosos.

El principal problema que plantean estos equipos es el sobrepeso que representan para el deportista puesto que los deben trasladar a lo largo de sus movimientos en el terreno de juego. A esta sobrecarga física se le añaden otra serie de inconvenientes como las incomodidades derivadas de la colocación de los electrodos, el hecho de que los electrodos se puedan despegar o el daño que puede sufrir el equipo de medida o el propio jugador debido a caídas, choques con adversarios, etc.

El desarrollo de nuevas tecnologías en el ámbito de las ciencias del deporte ha propiciado que el registro de la frecuencia cardiaca durante la realización de un ejercicio físico sea un procedimiento relativamente sencillo de llevar a cabo. Esto se debe principalmente a la creación de unos sistemas de radiotelemedría portátiles, denominados pulsómetros, que permiten el registro y almacenamiento de los datos relativos a los impulsos eléctricos acontecidos durante la contracción del miocardio. El origen de estos sistemas inalámbricos de registro de la frecuencia cardiaca se sitúa, aproximadamente, en 1980 (Achten & Jeukendrup, 2003).

Un pulsómetro es un monitor de ritmo cardiaco y consta de un transmisor, es decir, una cinta con electrodos que se coloca en el pecho del deportista y un receptor de la señal que el usuario lleva en la muñeca a modo de reloj. El transmisor, que se coloca en el pecho, actúa a modo de sensor y está compuesto por dos electrodos inalámbricos, un sistema amplificador de las señales, una batería y un emisor de ondas electromagnéticas. Los electrodos detectan los impulsos eléctricos del corazón y transmiten la señal registrada por medio de ondas electromagnéticas de pequeña señal y corto alcance (aproximadamente 1 m) hasta el receptor de pulsera donde se captan los datos, se transforman en información digital y pueden consultarse sobre la pantalla LCD del reloj.

Para ver si existían diferencias en el registro de los datos utilizando una técnica estándar de electrocardiografía y un pulsómetro Ali & Farrally (1991b) desarrollaron un protocolo que reproducía movimientos habitualmente realizados durante la práctica del fútbol y registraron la respuesta de la frecuencia cardiaca con ambos procedimientos. Las diferencias entre ambas técnicas de registro de los datos nunca fueron superiores a las 2 p/min, concluyendo los autores que la utilización de un pulsómetro resultaba ser una técnica más práctica que el empleo de la electrocardiografía en un deporte de contacto como el fútbol. Estudios similares a éste se han ido desarrollando durante la última década concluyendo Achten y Jeukendrup (2003), en su revisión realizada sobre el tema, que el registro de la frecuencia cardiaca utilizando pulsómetros se considera una técnica válida y fiable para emplear bajo condiciones de stress tanto físico como mental.

2.2.3.2 Registro de los datos

El registro de los datos requiere llevar a cabo un sencillo protocolo antes del inicio del ejercicio físico, en este caso de los partidos de fútbol, que implica la colocación del sistema de radiotelemedría portátil –pulsómetro- en el deportista. En la presente investigación se utilizaron pulsómetros de la marca Polar (Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia) modelos S610, cuyo peso aproximado es de 100 gr, y “Team System” que no requiere el uso de un receptor de pulsera, puesto que los datos se almacenan en la propia banda que el deportista lleva en el pecho (Figura 2.42).



Figura 2.42 Pulsómetros Polar modelos S610 (izquierda) y "Team System" (derecha).

El transmisor, que incluye la cinta con electrodos, debe colocarse a la altura del quinto espacio intercostal ya que es en este lugar donde mejor se capta la señal de la contracción cardiaca. Esta ubicación corresponde de forma aproximada a una región ligeramente inferior a la de la musculatura pectoral. Antes de colocar la cinta resulta necesario humedecer ligeramente los dos electrodos para asegurar una correcta captación de los impulsos eléctricos del corazón.

El receptor de señal se coloca habitualmente en la muñeca actuando a modo de reloj. Este receptor permite configurar los intervalos de registro de los datos pudiendo elegir entre intervalos de 5, 15 y 60 s. En el caso del modelo "Team System" el registro de los datos se realiza, por defecto, en intervalos de 5 s. Ali & Farrally (1991b) sugieren que el registro de los datos se realice en intervalos de 5 s en el deporte del fútbol puesto que otorga las siguientes ventajas:

- Los cambios en las formas de movimientos ocurren en intervalos menores a los 5 s en el fútbol, raramente los movimientos se mantienen de un modo continuo durante 15 s.

- Se pueden registrar más datos con intervalos de 5 s que con intervalos mayores.
- Utilizando los registros en intervalos de 5 s se puede obtener más información sobre casi todos los cambios en la forma del movimiento.
- Con un intervalo de registro de 15 s sólo se obtendrían trazas gruesas de los movimientos.

Una vez que se coloca el equipamiento sobre el deportista y se establece la frecuencia de muestreo a emplear simplemente resulta necesario indicar al equipo el momento en el que debe iniciar el registro de los datos y el momento en el que debe finalizar el mismo. Aunque los pulsómetros se pueden programar informáticamente para realizar un inicio del registro automático, lo más habitual es que sea el propio deportista quien se encargue de apretar el botón principal del receptor de pulsera para iniciar la adquisición de los datos y pulsar el mismo botón, o quitarse el transmisor del pecho, para detener el registro. En el modelo “Team System” el registro de los datos resulta inmediato a la colocación de la cinta transmisora en el pecho y se detiene al retirar la cinta.

2.2.3.3 Procesamiento de los datos

Los pulsómetros son aparatos para el registro de los datos aunque para el procesamiento de los mismos se requiere el empleo de otra serie de medios, generalmente de tipo informático.

Cada marca comercial desarrolla su propio sistema para el volcado de los datos para pasar los datos que se han almacenado en el receptor de pulsera hasta un

ordenador. La marca Polar utiliza distintos procedimientos para llevar a cabo este proceso en función de los recursos de cada tipo de pulsómetro. El modelo S610 permite el empleo del llamado “Infra-red Link” realizándose la transferencia de datos por la vía del puerto de infrarrojos del ordenador. El modelo “Team System” requiere de un interfaz que viene con el sistema. Este interfaz se conecta a un puerto del ordenador y permite el paso de los datos (Figura 2.43).



Figura 2.43 Interfaz del modelo “Team System” que permite el volcado de los datos a un ordenador.

Todo el proceso de volcado de los datos por cualquiera de los dos sistemas fue manejado desde el ordenador por el software Polar Precision Performance (Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia) en su versión 3.0. Este programa es un gestor de los archivos que contienen los datos de las pulsaciones registradas durante los ejercicios. Una vez que recibe los datos del ejercicio físico genera automáticamente una representación gráfica de la respuesta de la frecuencia cardiaca a lo largo del tiempo, tal como se puede ver en la Figura 2.44.

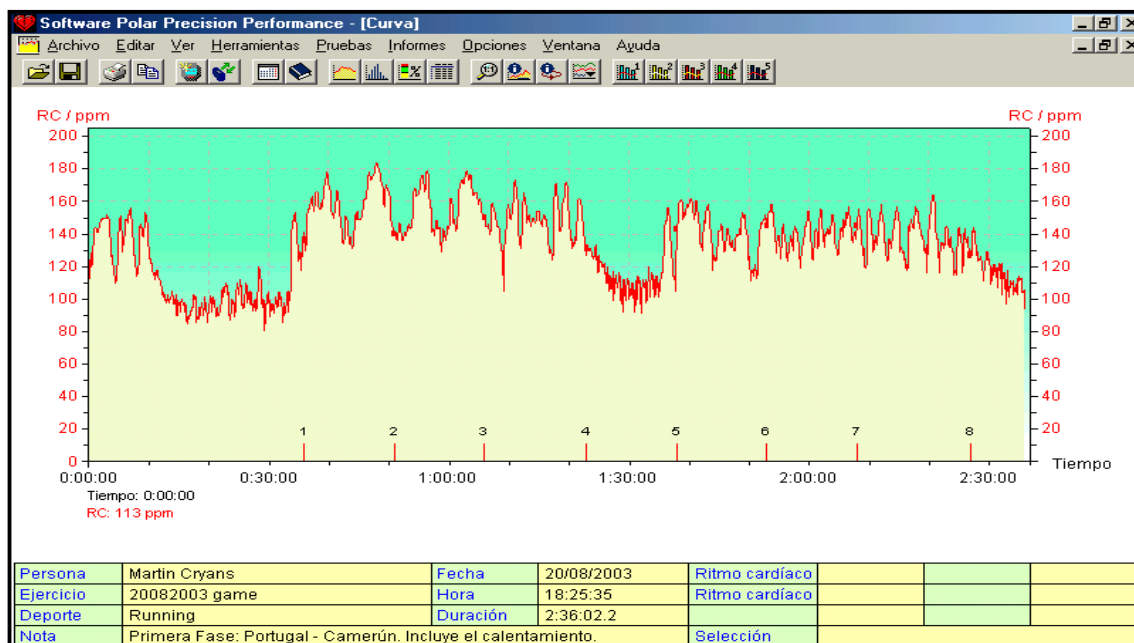


Figura 2.44 Representación de la frecuencia cardiaca para un árbitro asistente durante un partido de competición oficial en el programa Polar Precision Performance.

El software ofrece al usuario una amplia gama de posibilidades para el procesamiento de los datos así como la realización de gráficas, tablas o comparaciones entre distintos archivos. Además, los datos pueden ser exportados como ficheros de texto (*.txt) para poder trabajar con ellos en otras aplicaciones informáticas.

Durante el análisis de los datos se siguieron los criterios empleados en su estudio por Weston *et al.* (2004) de modo que, cuando los registros de pulsaciones se escapaban de los límites fisiológicos normales (es decir, cuando los datos aparecían fuera del rango esperado para los árbitros: por encima de las 210 p/min o por debajo de las 40 p/min), los datos se corregían utilizando los algoritmos correctores de errores del software Polar Precision Performance y se comprobaban mediante una inspección visual de los mismos. En cualquier caso tan solo se requirió llevar a cabo este proceso en un total de tres ocasiones a lo largo de la

A partir del listado de las pulsaciones registradas durante el ejercicio se pueden obtener todas las variables objeto de estudio. La primera de las variables analizadas fue la FC_{med} . Como el registro de las pulsaciones se realizó en intervalos de 5 s, para cada 45 min de partido se disponía de un total de 540 datos. La división del número total de latidos entre el número de registros permite obtener la citada variable. Para calcular la FC_{med} en intervalos de 15 s se debe seguir el mismo procedimiento pero reduciendo el intervalo de registro.

$$FC_{med} = \text{número de pulsaciones} / \text{tiempo de registro}$$

Este procedimiento se puede realizar con la utilización de una hoja de cálculo o con el propio software. La aplicación informática Polar Precision Performance también ofrece al usuario la posibilidad de determinar automáticamente la FC_{med} y $FC_{máx}$ de cada período de juego seleccionado (Figura 2.46).

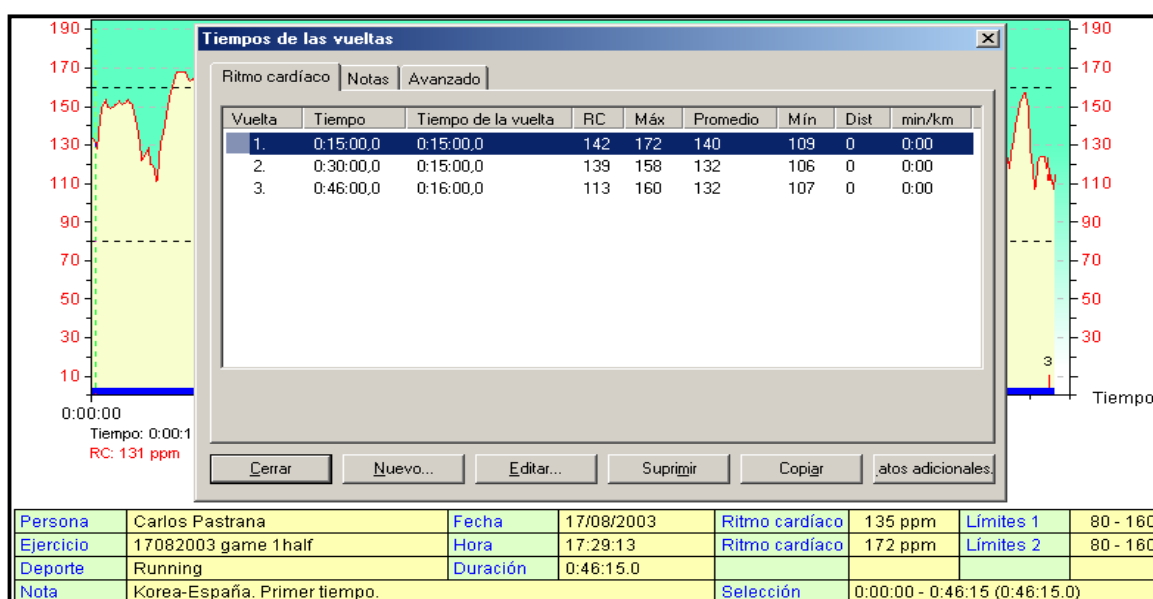


Figura 2.46 Frecuencia cardiaca media y máxima en intervalos de 15 min.

Una vez conocidas las FC_{med} y $FC_{m\acute{a}x}$ de los partidos los valores se pueden expresar de forma porcentual en función de la $FC_{m\acute{a}x}$ de cada deportista. El propio software permite al usuario la introducción de este dato para expresar los registros de una manera relativa.

Además, el software Polar Precision Performance permite conocer el tiempo empleado en los distintos rangos o intervalos de pulsaciones delimitados previamente. Las pulsaciones se pueden agrupar en intervalos de, como máximo, 10 unidades (Figura 2.47) aunque la suma de los cálculos parciales permite conocer el tiempo empleado en cada una de las categorías establecidas en la presente investigación.

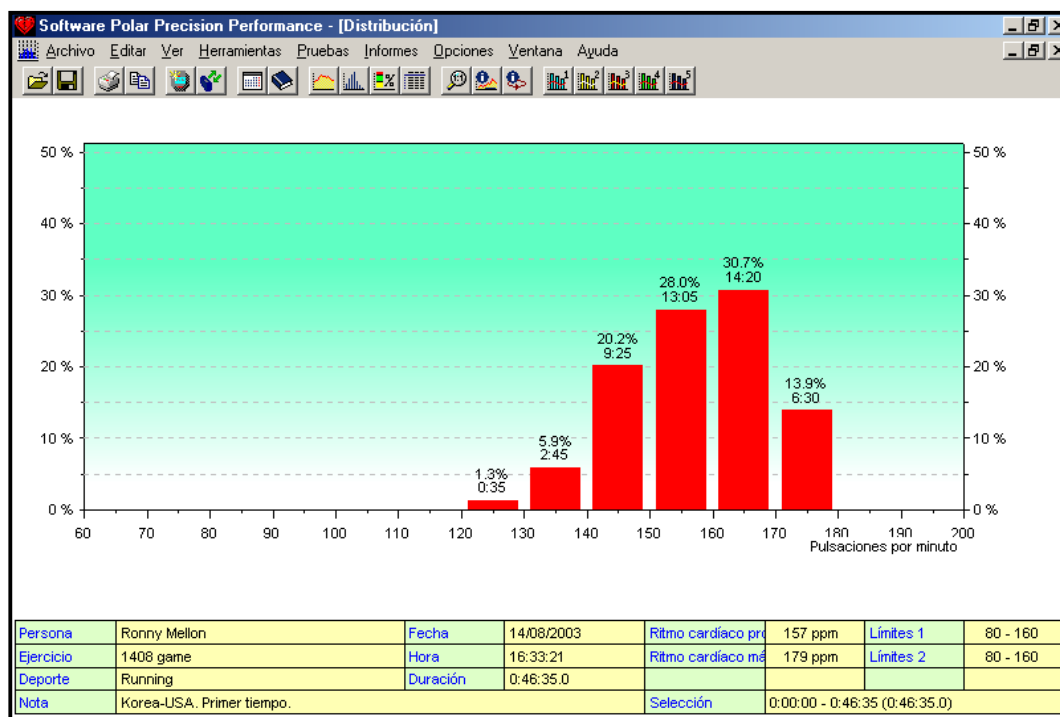


Figura 2.47 Distribución de la frecuencia cardiaca en intervalos absolutos de pulsaciones.

Siguiendo el mismo procedimiento e introduciendo la $FC_{\text{máx}}$ del sujeto el software genera la distribución del tiempo empleado en los distintos rangos de frecuencia cardiaca en términos relativos (Figura 2.48).

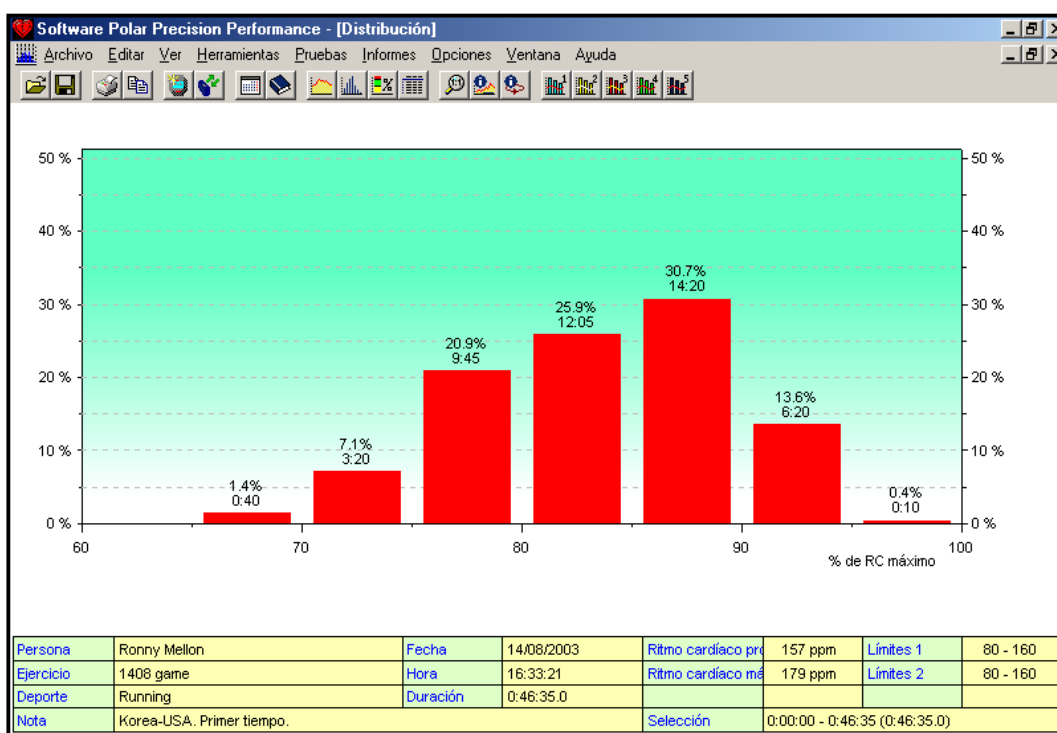


Figura 2.48 Distribución relativa en intervalos (en función de la $FC_{\text{máx}}$) de la frecuencia cardiaca.

2.2.4.2 Tratamiento estadístico

El diseño estadístico empleado en este apartado de la investigación fue muy similar al utilizado en la parte relativa a la respuesta cinemática de los jueces durante el juego. Los resultados obtenidos se estructuraron en dos bloques diferenciados haciéndose referencia en primer lugar a la descripción estadística de las variables para, posteriormente, pasar a estudiar las relaciones y diferencias entre las mismas.

Los resultados presentados en la sección 3.1 Estadística Descriptiva del capítulo 3 Resultados engloban tanto las medidas de tendencia central (media) y las de variabilidad (desviación estándar y rango) para cada una de las variables estudiadas.

Al no disponer de datos de pruebas de esfuerzo de los jueces en laboratorio la $FC_{máx}$ para cada deportista se estimó a partir de la fórmula $220 - edad$ (Astrand & Rodahl, 1977, en Caterall *et al.*, 1993; Bangsbo, 1994b; D'Ottavio & Castagna, 2001a). Durante la celebración del Campeonato, en todas las sesiones de entrenamiento que realizaban los jueces se les registraba la respuesta de la frecuencia cardiaca de modo que, en el caso de que los árbitros y árbitros asistentes, alcanzasen unos picos de $FC_{máx}$ mayores en las sesiones de entrenamiento o en los partidos de competición en relación al valor estimado por la fórmula anterior, los valores de $FC_{máx}$ obtenidos eran actualizados para cada deportista.

Al igual que sucedía con los datos obtenidos en el análisis cinemático del juego el estudio de las relaciones y diferencias entre las variables fisiológicas se llevaba a cabo mediante un análisis de la varianza con medidas repetidas. Este tipo de diseño contaba siempre con dos factores, realizándose las medidas repetidas sobre uno o los dos factores, según el objetivo de la comparación.

En el caso de las comparaciones de la respuesta de la frecuencia cardiaca de los árbitros o árbitros asistentes en tres intervalos de 15 min o según las cinco categorías en las que se agrupaban las pulsaciones (factor 1º) y a lo largo de los dos períodos de juego (factor 2º) las medidas repetidas se realizaban sobre ambos factores respetando el esquema que se muestra a continuación (Figura 2.49).

Muestra: Árbitros asistentes (n=20)

Variable dependiente: Frecuencia cardíaca

Variable independiente I: Intervalo de pulsaciones (5 niveles)

Variable independiente II: Período de juego (2 niveles)

<110 1T	111-130 1T	131-150 1T	151-170 1T	>170 1T
<110 2T	111-130 2T	131-150 2T	151-170 2T	>170r 2T

Figura 2.49 Diseño de un análisis de la varianza (5x2) con medidas repetidas sobre ambos factores.

En el caso de las comparaciones de la respuesta de la frecuencia cardíaca de los dos tipos de jueces (factor inter-sujetos) sobre las categorías relativas de pulsaciones (factor intra-sujetos) las medidas repetidas se realizaban únicamente sobre este último factor, tal y como se muestra en el siguiente esquema (Figura 2.50).

Muestra: Árbitros (n=10) y árbitros asistentes (n=20)

Variable dependiente: Frecuencia cardíaca

Variable independiente I: Categoría de esfuerzo según pulsaciones relativas (5 niveles)

Variable independiente II: Grupo de deportistas (2 niveles)

Rec.Pasiva Árbitros	Rec.Activa Árbitros	Media int. Árbitros	Alta int. Árbitros	Máxima int. Árbitros
Rec.Pasiva Asistentes	Rec.Activa Asistentes	Media int. Asistentes	Alta int. Asistentes	Máxima int. Asistentes

Figura 2.50 Diseño de un análisis de la varianza (5x2) con medidas repetidas sobre el factor categorías de esfuerzo.

Todas las pruebas de análisis de la varianza factoriales con medidas repetidas fueron realizadas con el paquete estadístico SPSS 11.5. A cada uno de los factores se les sometía a la prueba de esfericidad de Mauchly. En caso de que el factor cumpliera con las condiciones de esfericidad se procedía a calcular el valor de F para poder determinar el efecto o la interacción de las variables. Cuando los datos no permitían rechazar la hipótesis de esfericidad se ajustaban los grados de libertad según el valor de ϵ obtenido por la corrección de Greenhouse-Geisser, para determinar el nivel de significación de F .

Para cada uno de los factores utilizados en el análisis se determinó la potencia observada para un nivel establecido de alfa de 0,05, el tamaño de los efectos (ver sección 2.1.4.3; página 259) y la intensidad de los mismos (sección 2.1.4.3; página 260)

Todas las interacciones se representan gráficamente en el texto y para completar la explicación se realizaron comparaciones dos a dos de las medias utilizando el procedimiento de Bonferroni.

El nivel de significación establecido *a priori* fue de $p < 0.05$. En el caso de que se lograsen niveles de significación superiores $p < 0.01$ y $p < 0.001$ se indica también en el texto.

2.2.5 Diseño de la investigación

2.2.5.1 Muestra

La respuesta de la frecuencia cardiaca durante los partidos de competición de seis árbitros y de nueve árbitros asistentes fueron registradas durante diez y veinte partidos correspondientes al Campeonato del Mundo sub-17 de la FIFA celebrado en Finlandia entre los días 13 y 30 de agosto de 2003, respectivamente. En el caso de los árbitros la Tabla 2.4 resume los partidos analizados.

Tabla 2.4 Listado de los árbitros y partidos en los que se registró la frecuencia cardiaca.

Árbitro	Fecha	Fase	Partido
AL GHAMDI, K. (ASA)	19.08.2003	Previa	<i>Australia-Costa Rica</i>
BRAAMHAR, E. (HOL)	20.08.2003	Previa	<i>Portugal-Camerún</i>
	23.08.2003	Cuartos	<i>Argentina-Méjico</i>
	30.08.2003	Final	<i>Brasil-España</i>
DAMON, J. (RSA)	16.08.2003	Previa	<i>Argentina-Costa Rica</i>
IRMATOV, R. (UZB)	17.08.2003	Previa	<i>EEUU-S. Leona</i>
LOPES, H. (BRA)	13.08.2003	Previa	<i>Finlandia-China</i>
	16.08.2003	Previa	<i>Australia-Nigeria</i>
RODRÍGUEZ, M. (MEJ)	14.08.2003	Previa	<i>Camerún-Brasil</i>
	20.08.2003	Previa	<i>Brasil-Yemen</i>

Tal y como se puede comprobar en la tabla anterior a cada uno de los árbitros les fue registrada la frecuencia cardiaca en un mínimo de una ocasión y en un máximo de tres durante el Mundial. En el caso de los árbitros asistentes las medidas se llevaron a cabo en un mínimo de un encuentro y un máximo de cuatro sobre los

jueces que se muestran en la Tabla 2.5, correspondiendo a partidos que incluyen todas las fases de la competición.

Tabla 2.5 Listado de los árbitros asistentes y partidos en los que se registró la frecuencia cardíaca.

Árbitro Asistente	Fecha	Fase	Partido
CRYANS, M. (ESC)	13.08.2003	Previa	<i>Argentina-Australia</i>
	16.08.2003	Previa	<i>Finlandia-Méjico</i>
	20.08.2003	Previa	<i>Portugal-Camerún</i>
DAMOO, J. (SEY)	17.08.2003	Previa	<i>Yemen-Camerún</i>
	23.08.2003	Cuartos	<i>Colombia-Costa Rica</i>
	30.08.2003	3 ^{er} y 4 ^o puesto	<i>Colombia-Argentina</i>
GHOULOUM, E. (EAU)	19.08.2003	Previa	<i>Australia-Costa Rica</i>
MELLON, R. (SEY)	14.08.2003	Previa	<i>Corea-Estados Unidos</i>
	17.08.2003	Previa	<i>Yemen-Camerún</i>
	23.08.2003	Cuartos	<i>Colombia-Costa Rica</i>
PASTRANA, C. (HON)	14.08.2003	Previa	<i>Camerún-Brasil</i>
	17.08.2003	Previa	<i>Corea-España</i>
	27.08.2003	Semifinal	<i>Brasil-Colombia</i>
TAUARO, D. (TAI)	13.08.2003	Previa	<i>Costa Rica-Nigeria</i>
VUKE, G. (VAN)	13.08.2003	Previa	<i>Costa Rica-Nigeria</i>
WITTEBERG, S. (SUE)	13.08.2003	Previa	<i>Méjico-Colombia</i>
	19.08.2003	Previa	<i>Nigeria-Argentina</i>
	24.08.2003	Cuartos	<i>Brasil-Méjico</i>
	27.08.2003	Semifinal	<i>Argentina-España</i>
YACOB, M. (MAS)	14.08.2003	Previa	<i>Yemen-Portugal</i>

La realización de un trabajo de investigación durante una situación competitiva de máximo nivel puede conllevar la aparición de ciertos problemas metodológicos sobre la marcha que complican el devenir del mismo. Aunque desde la propia FIFA se facilitó al máximo el desarrollo de la investigación, a la hora de registrar la

frecuencia cardiaca sobre los deportistas participantes en el evento la escasa o nula familiarización previa de algunos de los árbitros con el equipamiento, imposibilitó que se realizasen todos los registros inicialmente previstos. Debido a la trascendencia que la actuación de un árbitro puede tener en un evento como un Mundial de fútbol el sentido común desaconsejó la colocación de pulsómetros en determinados deportistas, para evitar que ello supusiese una fuente de stress adicional para los jueces.

Tanto los árbitros como los árbitros asistentes pertenecían a la muestra de jueces caracterizada en la sección 2.1.5.1 y cuyas características antropométricas se sintetizan en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6 Características antropométricas (media $\pm$ desviación estándar) de los árbitros y árbitros asistentes cuya frecuencia cardiaca se registró durante los partidos.

	Árbitros (n=6)	Árbitros asistentes (n=9)
Edad	31,33 $\pm$ 3,61	33,89 $\pm$ 2,76
Estatura (cm)	181,33 $\pm$ 6,86	175,11 $\pm$ 5,11
Peso (kg)	78 $\pm$ 7,56	72,78 $\pm$ 8,35
Experiencia internacional (años)	1,83 $\pm$ 1,33	2,56 $\pm$ 1,74

2.2.5.2 Protocolo

Todos los árbitros y árbitros asistentes que participaron en esta parte del trabajo de investigación estaban familiarizados con el uso de pulsómetros tanto durante los entrenamientos como en la propia competición. En cualquier caso todos ellos recibieron una serie de clases teórico-prácticas sobre su utilización (colocación del transmisor, inicio del registro de datos, etc.) y lo emplearon durante los entrenamientos técnicos y físicos que organizaba la FIFA en el transcurso del propio Mundial.

Antes de iniciar los partidos de competición los jueces se colocaban los pulsómetros en el vestuario (Figura 2.51) y probaban tanto su adecuada ubicación como el correcto funcionamiento durante los períodos de calentamiento pre-partidos.



Figura 2.51 Colocación de un pulsómetro por un árbitro antes del inicio de un partido oficial.

El registro de los datos lo iniciaba cada uno de los deportistas una vez sobre el terreno de juego y la finalización del mismo se realizaba bien manualmente, presionando sobre el botón del receptor de pulsera, o bien quitándose la cinta transmisora.

A la conclusión del partido cada juez entregaba su equipo de radiotelemetría para proceder al volcado de los datos sobre un ordenador portátil que tenía instalado el software Polar Precision Performance. Una vez realizado este proceso a cada árbitro le era devuelto su pulsómetro para que lo continuase usando durante el resto de la competición.

Los archivos volcados al ordenador eran almacenados bajo la extensión *.hrm y, una vez finalizada la competición, los datos fueron procesados y tratados utilizando el software Polar Precision Performance. A partir de estos archivos los datos finales se exportaban a una hoja de calculo (Microsoft Excel 2000) y se trataban estadísticamente con el software SPSS 11.5.

2.3 Valoración de la condición física

2.3.1 Introducción

La tercera y última parte del capítulo 2 Material y Métodos está orientada hacia el estudio de la valoración de la condición física de los árbitros y árbitros asistentes que participaron en el Mundial sub-17. El término condición física es un concepto global muy amplio que, dentro del fenómeno deportivo, intenta abarcar la suma de todas las cualidades físicas importantes para el rendimiento dentro de una especialidad (Grosser *et al.*, 1988).

El interés por el estudio de la medida de las cualidades físicas en los deportistas se ha denominado en ocasiones como metrología (Zatsiorksi, 1989) que, etimológicamente, vendría a hacer referencia a la ciencia que se ocupa de las mediciones y también como biometría, enfocándose en este caso las mediciones hacia los seres vivos.

Resulta necesario establecer las diferencias existentes entre los conceptos de medir y evaluar. Mientras que el término medir representa el proceso por el cual se registra el resultado obtenido en una prueba, el concepto de evaluación es mucho más amplio, ya que implica el análisis de los factores que han llevado a la consecución de dicha marca y la emisión de un juicio de valor sobre el resultado obtenido.

El objetivo de la medición es obtener una información lo más cuantitativa posible sobre la manifestación relativa de la facultad o cualidad motriz analizada (Grosser & Starischka, 1988). Mediante la utilización de tests se pueden definir los

componentes fisiológicos que contribuyen a la consecución de una marca deportiva, predecir la misma y ayudar en la prescripción y evaluación del entrenamiento (Foster, 1989).

Las pruebas empleadas para valorar a un deportista deben cumplir con una serie de requisitos imprescindibles debiendo ser válidas, fiables y objetivas (López Calbet & Gorostiaga, 2002). Además los tests deben aplicarse siguiendo un protocolo debidamente estandarizado.

Para poder llevar a cabo una evaluación efectiva de la condición física MacDougall *et al.* (1991) proponen tomar en consideración las siguientes observaciones:

- Las variables evaluadas deben ser importantes en el deporte estudiado.
- Las pruebas seleccionadas deben ser válidas y fiables.
- Los protocolos han de ser específicos al deporte.
- La prueba debe ser administrada con absoluta rigidez.
- Resulta necesario respetar los derechos humanos del deportista.
- La evaluación debe llevarse a cabo en intervalos regulares.
- El entrenador y el deportista deben recibir una interpretación directa de los resultados de la prueba.

Según estas consideraciones parece necesario que la realización de una prueba para la valoración de la condición física deba seguir un estricto protocolo y la variable a medir deba estar relacionada con el rendimiento en la competición, es decir, la prueba debe ser específica a las demandas del deporte. Es por esto que la prueba ideal sería aquella cuyos resultados estuviesen altamente correlacionados

con el rendimiento en la competición. Una prueba de estas características podría ser a su vez utilizada como un modelo predictivo de futuros resultados deportivos.

En general raramente se consiguen estos objetivos de ahí que se hayan desarrollado pruebas que muestran una correlación parcial con algunos de los parámetros que contribuyen a caracterizar el rendimiento en una especialidad deportiva.

Tradicionalmente las pruebas de valoración de la condición física se han desarrollado en situaciones de laboratorio. Este tipo de pruebas permiten la obtención de una gran cantidad de datos sobre parámetros fisiológicos o biomecánicos pero cuentan con la desventaja del alto coste del equipamiento utilizado y de la menor especificidad con la actividad motriz habitualmente desarrollada por el deportista.

Puesto que el objetivo habitual es intentar que la valoración de una cualidad física se realice en una situación próxima a la competición, se han desarrollado pruebas de campo que tratan de aplicar los principios básicos de la evaluación en laboratorio a situaciones más relacionadas con el rendimiento deportivo. Aunque estas pruebas suelen tener una mayor especificidad y pueden ser aplicadas a un mayor número de sujetos simultáneamente, cuentan con la dificultad que suele suponer el traslado de determinadas técnicas experimentales (por ejemplo, analizadores de gases o plataformas dinamométricas) hasta el lugar donde se realiza la valoración.

Además de por el lugar en el cual se desarrollan las mismas, las pruebas se pueden clasificar en función de si los procedimientos para la obtención de los

parámetros analizados son directos o indirectos. El registro de una variable como el consumo de oxígeno puede determinarse de una manera directa si se cuenta con un equipo de análisis de gases o puede estimarse a través de un procedimiento indirecto si se realiza una estimación de dicho parámetro utilizando las ecuaciones publicadas por distintos autores a partir de la distancia recorrida durante una prueba (test de Course-Navette, en Léger & Lambert, 1982) o el tiempo empleado para recorrer una distancia (prueba de Rockport o prueba de George-Fisher, ambas en García Manso *et al.*, 1996). El procedimiento indirecto resulta ser menos preciso, puesto que parte de la aplicación de una serie de fórmulas obtenidas con los grupos de sujetos que participaron en cada una de las investigaciones, por lo que su extrapolación a deportistas de alta competición puede arrastrar ciertos errores a la hora de estimar los valores finales. Por el contrario, la principal ventaja que presentan es que no requieren de apenas material para realizarlas por lo que están al alcance de cualquier entrenador.

En la realización de pruebas para la valoración de la resistencia aeróbica también resulta necesario considerar cómo se aplica la carga en los protocolos. Los incrementos en la carga pueden aplicarse de forma continua, cuando no se intercalan intervalos de reposo entre los distintos estadíos que componen la prueba, o en forma discontinua, cuando sí existen períodos de reposo (utilizados generalmente para tomar muestras de sangre). A su vez los protocolos continuos pueden dividirse en función de si la carga se aplica de una forma constante, en rampa o en escalera, mientras que los discontinuos también pueden ser en escalera, aumentando la intensidad de la carga en los sucesivos estadíos.

Por último también se puede hablar de pruebas de valoración de la resistencia aeróbica de tipo máximo, en las que se lleva la prueba hasta el agotamiento o hasta

alcanzar los criterios de maximalidad y de pruebas submáximas en las que la prueba se interrumpe antes de alcanzar el citado punto, pudiéndose realizar una estimación de los valores máximos por métodos gráficos o matemáticos.

Como en general resulta muy complicado definir el rendimiento en un deporte a partir de la realización de una única prueba de valoración, habitualmente se diseña una batería de pruebas físicas, para intentar estudiar los distintos componentes del rendimiento. Para ello resulta necesario definir en primer lugar las cualidades físicas que se consideran fundamentales para cada especialidad deportiva y, a continuación, establecer las pruebas que resulten válidas y fiables para valorar dichas cualidades. Este proceso resulta tremendamente complicado de llevar a cabo en los deportes de equipo, puesto que las cualidades físicas no se manifiestan de una manera aislada sino que éstas se hayan interrelacionadas y en el rendimiento final intervienen otra serie de variables (táctica, estrategia, técnica, etc.) que provoca que la valoración de las cualidades físicas de una manera independiente no resulte suficiente para caracterizar a los practicantes de dicha especialidad.

Por todos estos factores resulta necesario conocer en qué medida cada una de las pruebas físicas empleadas se relaciona con el rendimiento del deportista en la competición. La aplicación de este criterio permitiría el diseño de nuevas pruebas que se ajustasen a las demandas de los deportistas cuando compiten al tiempo que deberían contribuir a facilitar la prescripción y la evaluación del proceso de entrenamiento.

2.3.2 Modelo teórico

La FIFA considera un buen nivel de condición física aeróbica como un requisito para el óptimo arbitraje (Eissmann & D'Hooghe, 1996). Esto se debe a que, probablemente, unos valores óptimos de resistencia aeróbica permiten al árbitro seguir el juego más de cerca, proporcionándole una buena visión del juego (Harley *et al.*, 2001a).

La valoración de la condición física en los deportes de equipo se ha realizado tradicionalmente utilizando una enorme variedad de pruebas y procedimientos. Con el fin de establecer unas pruebas de evaluación de la condición física comunes para todos los árbitros y árbitros asistentes a nivel mundial la Comisión de Arbitraje de la FIFA ha elaborado una batería de pruebas que es seguida por el resto de organizaciones tanto a nivel continental, como podría ser el caso de la Unión Europea de Fútbol Asociado (UEFA), como a nivel de las asociaciones nacionales, por ejemplo por la Real Federación Española de Fútbol (RFEF).

Todos los árbitros y árbitros asistentes que participan en las competiciones organizadas por cualquiera de las asociaciones nacionales deben superar a lo largo de la temporada una serie de pruebas físicas que les habilitan para arbitrar. En el caso de los jueces de categoría internacional además de superar las habituales pruebas físicas realizadas por las asociaciones nacionales deben someterse también a un protocolo de valoración de la condición física organizado y supervisado por la propia FIFA antes de participar en un evento de carácter internacional.

La batería de pruebas físicas que actualmente aplica la Comisión de Arbitraje de la FIFA (FIFA, 1989) exige a los árbitros la realización y superación de una prueba de resistencia aeróbica (test de carrera durante 12 min) y dos pruebas de resistencia anaeróbica (dos repeticiones de carrera de 200 m y dos repeticiones de carrera de 50 m). Los árbitros asistentes deben realizar únicamente las pruebas de resistencia aeróbica y carrera sobre 50 m anteriormente referidas. La FIFA (FIFA, 1994) establece un baremo mínimo de puntuación que los árbitros y árbitros asistentes deben lograr. En el caso de que algún juez no logre las marcas mínimas no se le considera apto para participar en el evento.

Al haberse desarrollado el presente trabajo de investigación durante un campeonato oficial organizado por la FIFA la valoración de la condición física estuvo supeditada a la realización de las pruebas de valoración de la condición física que exige la propia entidad puesto que la superación de estas pruebas era requisito imprescindible para la participación en el evento. Esto hace que las variables estudiadas durante la presente investigación se hallen influenciadas por el sistema de evaluación impuesto por la Federación Internacional de Fútbol.

Para valorar la resistencia aeróbica la FIFA ha establecido la prueba de carrera de 12 min de duración. En esta prueba, realizada sobre una pista de atletismo, los deportistas deben tratar de recorrer la máxima distancia posible en los 12 min de que consta la prueba. La distancia mínima que exige la FIFA a los árbitros y a los árbitros asistentes es de 2.700 m.

Este tipo de prueba para la valoración de la resistencia aeróbica tiene una enorme tradición y ha sido aplicada en numerosos ámbitos, tanto a nivel deportivo como escolar. La duración de esta prueba se basa en los estudios llevados a cabo por

Balke (1963) que observó en un grupo de ocho sujetos cómo una prueba de intensidad constante que producía el agotamiento en 12 min requería un consumo de oxígeno muy próximo al $VO_{2máx}$ del sujeto (López Calbet & Gorostiaga, 2002). Años más tarde el doctor Cooper (1968) encontró una relación positiva ($r=0,90$) entre el $VO_{2máx}$ obtenido en una prueba de intensidad progresiva hasta el agotamiento y la velocidad media de carrera durante la prueba de los 12 min, empleando una muestra de 115 militares de género masculino (Shephard, 1992a).

A partir de la distancia recorrida en esta prueba se han desarrollado ecuaciones que permiten estimar de una forma indirecta el $VO_{2máx}$ y el umbral anaeróbico. El $VO_{2máx}$ (expresado en ml/kg/min) se puede predecir aplicando alguna de las siguientes ecuaciones:

$$VO_{2máx} = (Distancia * 0,022) - 10,39 \text{ (Cooper, 1968)}$$

$$VO_{2máx} = (0,2 * Vel \text{ media}) + 3,5 \text{ (ACSM, 1986, en García Manso et al., 1996)}$$

$$VO_{2máx} = 33,3 + (distancia \text{ total} - 150) * 0,178 \text{ (Balke, en Tiriyaki et al., 1993)}$$

$$VO_{2máx} = 22,351 * distancia \text{ total (km)} - 11,288 \text{ (García Manso et al., 1996)}$$

$$VO_{2máx} = distancia \text{ total} * 0,02 - 5,4 \text{ (Howald, en García Manso et al., 1996)}$$

Los estudios de Cazorla (1990) (en García Manso *et al.*, 1996) conceden una validez a esta prueba para predecir el $VO_{2máx}$ entre $r=0,24$ y $r=0,94$. Otros autores como McCutcheon *et al.* (1990) han encontrado que la aplicación de la fórmula del Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM) puede producir una subestimación del $VO_{2máx}$ en torno al 7%. También existe una correlación alta entre los resultados de esta prueba y el tiempo empleado en recorrer la distancia de 2.400 m.

Si se establecen unas condiciones estándar es el test se puede repetir meses después para saber si ha existido una mejora en el estado de forma del sujeto. En el ámbito del entrenamiento se pueden extraer más datos si la prueba se realiza con pulsómetros y si se toman muestras de lactato al finalizar la misma.

Para sujetos no deportistas se puede valorar el rendimiento en el test a partir de la distancia total recorrida durante los 12 min de la siguiente manera (Tabla 2.7):

Tabla 2.7 Valoración de la marca obtenida en el test de Cooper en función de la edad (en años) y el género. (Tomado de García Manso et al., 1996).

NIVEL	Género	13-19 a.	20-29 a.	30-39 a.	40-49 a.	50-59 a.	+ 60 a.
Muy malo	Masc.	- 2100	- 1950	- 1900	- 1850	- 1650	- 1400
	Fem.	- 1600	- 1550	- 1500	- 1400	- 1350	- 1250
Malo	Masc.	2100-2200	1950-2100	1900-2100	1850-2000	1650-1850	1400-1650
	Fem.	1600-1900	1550-1800	1500-1700	1400-1600	1350-1500	1250-1400
Medio	Masc.	2200-2500	2100-2400	2100-2350	2000-2250	1850-2100	1650-1950
	Fem.	1900-2100	1800-1950	1700-1900	1600-1800	1500-1700	1400-1600
Bueno	Masc.	2500-2750	2400-2650	2350-2500	2250-2500	2100-2300	1950-2150
	Fem.	2100-2300	1950-2150	1900-2100	1800-2000	1700-1900	1600-1750
Muy bueno	Masc.	2750-3000	2650-2850	2500-2650	2500-2650	2300-2550	2150-2500
	Fem.	2300-2450	2150-2350	2100-2250	2000-2150	1900-2100	1750-1900
Excelente	Masc.	+ 3000	+ 2850	+ 2700	+ 2650	+ 2550	+ 2500
	Fem.	+ 2450	+ 2350	+ 2250	+ 2150	+ 2100	+ 1900

Algunos autores han utilizado también este test para intentar estimar la velocidad de carrera correspondiente al umbral anaeróbico. Los valores de umbral anaeróbico se utilizan para un entrenamiento intensivo de carrera continua.

La Tabla 2.8 recoge la estimación de la velocidad crítica al nivel de umbral anaeróbico en función de la distancia recorrida durante la prueba de los 12 min. Los valores de velocidad están fundamentados en un estudio sobre entrenamiento intensivo de carrera continua en terreno llano llevado a cabo por Weiler *et al.* 1985 (en Zintl, 1991).

Tabla 2.8 Relación entre la distancia recorrida en la prueba de los 12 min y la estimación de la velocidad de carrera en umbral anaeróbico. (Weiler et al., 1985, en Zintl, 1991).

Distancia en 12 min	Velocidad umbral (km/h)	Rango velocidades (km/h)
2600 m	11,0	10,5-11,5
2700 m	11,5	11,0-12,0
2800 m	12,0	11,6-12,4
2900 m	12,6	12,3-12,9
3000 m	13,1	12,8-13,4
3100 m	13,6	13,3-13,9
3200 m	14,1	13,7-14,5
3300 m	14,6	14,1-15,1
3400 m	15,1	14,6-15,6
3500 m	15,6	15,0-16,2

Según todo lo anterior la variable medida durante la prueba de carrera durante 12 min es la distancia total recorrida, pudiéndose utilizar dicha variable como un parámetro indirecto para estimar el $VO_{2\text{máx}}$ de los jueces. La realización de un esfuerzo máximo de 12 min de duración lleva consigo una serie de respuestas fisiológicas en el deportista.

Los estudios llevados a cabo por Karlsson & Saltin (1970) (en Ibáñez & Gorostiaga, 2001) utilizando una muestra de tres estudiantes con un buen nivel de condición

física que realizaban un ejercicio que provocaba el agotamiento en un tiempo medio de 16 min y 30 s mostraron cómo este tipo de ejercicio acarreaba una disminución significativa de las concentraciones musculares de ATP (25%), fosfocreatina (76%) y glucógeno (34%), así como un aumento de la concentración de lactato, aunque todas estas variaciones bioquímicas se producían desde los 2-3 min del inicio del ejercicio.

En cualquier caso el factor limitante en ejercicios de esta duración parece estar asociado a la disponibilidad por parte de los músculos para utilizar el oxígeno (Newsholme, 1986, en Ibáñez & Gorostiaga, 2001). Los propios Ibáñez & Gorostiaga (2001) amplían el abanico de factores críticos que inciden en el sistema de transporte y utilización del oxígeno como podrían ser:

- la capacidad de los pulmones para extraer la mayor cantidad de oxígeno al respirar,
- la capacidad de transportar más oxígeno en la sangre,
- la capacidad para hacer que llegue más oxígeno al músculo, o
- la capacidad del propio músculo para oxidar la glucosa.

En definitiva, el disponer de unos valores elevados de consumo máximo de oxígeno permite alcanzar unos mejores resultados al realizar la prueba de carrera de 12 min de duración.

La realización de las pruebas de carrera sobre las distancias de 200 y 50 m maneja la justificación teórica por parte de la FIFA de intentar determinar el nivel de resistencia anaeróbica de los árbitros y árbitros asistentes. La evaluación del componente anaeróbico está fundamentada en los procesos metabólicos que

acontecen en la célula muscular para la obtención de energía sin la presencia de oxígeno. Dentro del término resistencia anaeróbica es necesario distinguir entre el componente láctico y aláctico de la misma, en función de si la acumulación de un producto metabólico de desecho como es el ácido láctico, es característico del ejercicio o no.

A su vez, dentro de cada tipo de resistencia anaeróbica resulta conveniente diferenciar entre la potencia, que representa la posibilidad de obtener la mayor cantidad de energía por unidad de tiempo utilizando prioritariamente una vía metabólica, y la capacidad, que refleja la máxima obtención de energía utilizando una vía sin limitación temporal. De este modo dentro del término de resistencia anaeróbica se podrían distinguir cuatro componentes diferenciados en función de las características metabólicas y la duración del ejercicio realizado (Figura 2.52).

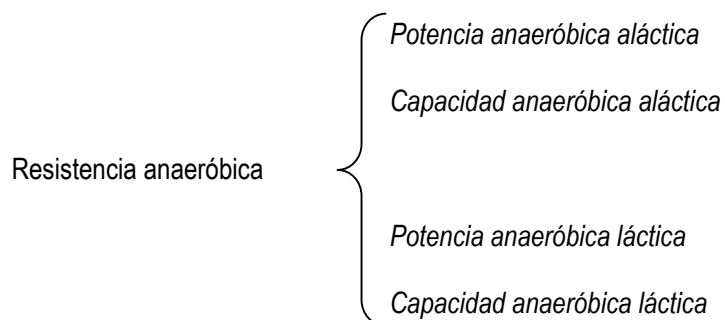


Figura 2.52 Clasificación teórica de la resistencia anaeróbica.

Esta clasificación de los esfuerzos tiene un valor fundamentalmente orientativo puesto que a nivel práctico resulta muy complicado determinar con exactitud en qué

momento se pasa de un estado a otro ya que los teóricos límites temporales y fisiológicos entre cada uno de los componentes se solapan.

La realización de un ejercicio máximo de carrera sobre una distancia de 200 m, que para un árbitro supone una duración aproximada de unos 30 s, podría, en teoría, utilizarse como una prueba para estimar la potencia anaeróbica láctica del deportista. El rendimiento en este tipo de esfuerzos depende de la actividad de la enzima fosfofructokinasa (PFK) que suele alcanzar su máxima actividad entre los 10 y 30 s del ejercicio (López Calbet & Gorostiaga, 2002). En cualquier caso los propios López Calbet & Gorostiaga (2002) resaltan la imposibilidad de evaluar la potencia anaeróbica láctica mediante un test de esfuerzo o pruebas indirectas puesto que, para poder lograrlo, sería necesario conocer el ritmo de producción de lactato en el músculo y determinar también la cantidad de lactato que pasa a la sangre para ser aclarado. Este proceso requeriría la realización de biopsias musculares de manera continua durante el ejercicio por lo que resulta incompatible con la práctica deportiva.

La prueba de los 50 m estaría relacionada con el componente denominado capacidad anaeróbica aláctica que la propia FIFA denomina como velocidad. El rendimiento en esta prueba viene marcado por la capacidad del organismo para hidrolizar las reservas de ATP musculares, según la velocidad de la enzima miosina ATP-asa, aunque un esfuerzo máximo de esta duración (6-7 s) también supone una alta exigencia al metabolismo glucogenolítico y glucolítico (López Calbet & Gorostiaga, 2002).

La variable utilizada para medir el rendimiento en las pruebas de los 200 y 50 m por parte de la FIFA es el tiempo empleado en recorrer la distancia. Mientras que el

tiempo máximo en que los árbitros deben recorrer la distancia de los 200 m es 32 s en la prueba de carrera sobre 50 m los jueces deben emplear un tiempo inferior a los 7,5 s (FIFA, 1994a). En ambas pruebas los deportistas deben lograr las marcas mínimas en las dos repeticiones, aunque para los objetivos de la presente investigación la variable final seleccionada representativa de cada prueba haya sido el mejor registro obtenido en las dos carreras sobre la distancia.

2.3.3 Técnicas de adquisición de los datos

2.3.3.1 Registro de los datos

A la hora de realizar mediciones sobre las cualidades físicas las técnicas experimentales empleadas deben haber sido convenientemente validadas y ofrecer unos resultados fiables. Al utilizarse generalmente aparatos de medida comercializados por empresas especializadas del sector son las propias empresas las que han testado la validez y fiabilidad del producto antes de introducirlo en el mercado.

Para llevar a cabo mediciones en las que la variable tiempo resulta ser el criterio de eficacia de la prueba se requiere el empleo de medios tecnológicos que faciliten el cronometraje de la acción, como sería el caso del test de los 50 m. Aunque la prueba podría medirse con un cronometraje manual, esta técnica puede arrastrar consigo un error humano al realizar las mediciones, de ahí que para ello se empleen otros medios como las células fotoeléctricas, los sistemas de láser o las cámaras de alta velocidad.

Para la medición de las pruebas de velocidad, la técnica experimental más empleada habitualmente para el registro de los datos es la de las células fotoeléctricas. Los sistemas de células fotoeléctricas están fundamentados en la emisión desde una célula de un haz de rayos infrarrojos hacia otra célula receptora reflectante colocada en un lugar opuesto. Cada una de estas barreras de células detecta cuándo un cuerpo se interpone en la misma, es decir, cuándo un cuerpo u objeto corta el haz de rayos. Existen también modelos en el mercado que requieren únicamente de la célula emisora, sin ser necesaria la colocación de células reflectantes y detectan cuándo un cuerpo interrumpe el haz de rayos infrarrojos.

Yeadon *et al.* (1999) reflejan diversos problemas metodológicos que pueden acontecer durante el cronometraje del tiempo con el empleo de células fotoeléctricas. El objetivo de este sistema sería la determinación de la velocidad de desplazamiento media del centro de masas de un sujeto entre dos puntos. En ocasiones las células fotoeléctricas pueden ser activadas por la situación de un brazo que se adelanta al centro de masas del sujeto de ahí que la velocidad media estimada nunca se corresponde exactamente con la velocidad del centro de masas si cada célula se activa por distintas partes del cuerpo.

Para llevar a cabo las mediciones de los árbitros y árbitros asistentes durante la presente investigación se utilizó el modelo Newtest Powertimer 300 series (Newtest Oy, Oulu, Finlandia). Este equipamiento se distribuyó de tal manera que se colocaron dos barreras de células fotoeléctricas, una en el lugar de salida y otra en el lugar de llegada que, en este caso, estaba a 50 m de la anterior. Cuando el deportista iniciaba la carrera y pasaba por la primera fotocélula se activaba la cuenta del tiempo y cuando llegaba a la barrera final se detenía el cómputo.

El lugar desde el cual el sujeto realizaba la salida estaba estandarizado, situándose para ello el deportista 50 cm por detrás de la primera célula (Figura 2.53). Cada barrera de células se colocaba sobre un trípode para regular su altura, de manera que la célula quedaba aproximadamente a la altura del pecho ya que este punto era el que se tomaba como referencia para iniciar y detener la cuenta del tiempo.

Todo el sistema funcionaba de una manera computerizada; los datos registrados se pasaban automáticamente a un pequeño ordenador de bolsillo que incorporaba el equipo y quedaban almacenados. La precisión de las medidas realizadas era de 0,001 s.



Figura 2.53 Colocación del equipamiento para realizar la prueba de velocidad de 50 m.

En la prueba de carrera de 200 m el cronometraje del tiempo empleado en recorrer la distancia se realizaba normalmente de forma manual. La salida de cada deportista se realizaba de forma individual, a la voz de uno de los evaluadores, y se

registraba el tiempo empleado hasta llegar a la línea de meta, situada en la curva opuesta de la pista de atletismo.

Por último, en la prueba de carrera durante 12 min se establecieron grupos de 10-12 deportistas para realizar su realización. En el momento de dar la salida se iniciaba un cronometraje manual común para la prueba y se computaba cada paso de los deportistas por la línea de meta, es decir, cada vez que daban una vuelta completa al perímetro de la pista de atletismo (400 m).

Al cumplirse los 12 min el juez o evaluador de la misma hacía sonar una señal acústica que obligaba a todos los deportistas a detenerse en el lugar que ocupaban sobre la pista de atletismo, sin poder moverse de la misma hasta que su posición quedaba registrada. En este momento cada uno de los jueces ayudantes medía la distancia recorrida desde la última vez que cruzaron la línea de meta hasta el punto en el que finalizaron la misma, para así poder calcular la distancia total recorrida durante la prueba.

2.3.3.2 Procesamiento de los datos

Los datos registrados, bien por medio del cronometraje automático o manual, fueron introducidos en una hoja de cálculo desarrollada al efecto. En esta hoja se introdujo la marca final obtenida por cada uno de los jueces (árbitros y árbitros asistentes) en las pruebas realizadas (Figura 2.54).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	W	CONF	...	NAME	FIRST	Birthday	Country	FITNESSTEST					
2				NAME				12min	50 m	200 m	50 m	200 m	
3	1	AFC	R	AL GHAMDI	Khalil	02/09/1970	KSA	3180	7,3	30,9	7,4	29,7	
4	2	OFC	R	RAKAROJ	Leone		FIJ	2014	6,8	27,7	6,7	29,4	
5	3	UEFA	R	BRAAMHAAR	Eric	13/10/1966	NED	3120	7,3	29,9	7,4	29,2	
6	4	CONMEBOL	R	BRAZENAS	Gabriel	29/11/1967	ARG	2750	7,5	31,6	7,5	31,1	
7	5	CAF	R	DAMON	Jerome	04/04/1972	RSA	2937	6,6	28,4	6,6	28,4	
8	6	UEFA	R	HANSSON	Martin	06/04/1971	SWE	2975	7,1	30,2	7,1	29,1	
9	7	AFC	R	IRMATOV	Ravshan	09/08/1977	UZB	3140	6,9	25,9	6,8	27,2	
10	8	CONMEBOL	R	LOPES	Heber	13/07/1972	BRA	3050	7,3	30,4	7,1	30,0	
11	9	CAF	R	MAILLET	Eddy	19/10/1967	SEY	3085	7,1	27,6	7,3	31,9	
12	10	CONCACAF	R	PIPER	Richard	12/11/1966	TRI	2825	7,0	27,9	6,5	26,3	
13	11	CONCACAF	R	RODRIGUEZ	Marco	10/11/1973	MEX	3010	6,9	26,6	6,7	26,8	
14													
15	12	AFC	AR	AL SHIHE	Malik	03/07/1967	OMA	3050	7,2		7,3		
16	13	UEFA	AR	ANDREN	Henrik	21/07/68	SWE	2984	6,8		6,7		
17	14	UEFA	AR	BRINK	Arie	18/08/72	NED	2817	7,4		7,5		
18	15	CONMEBOL	AR	CAGNI	Sergio	22/08/65	ARG	2760	7,3		6,7		
19	16	CONMEBOL	AR	CALDERON	Imma	25/10/68	BOL	2808	7,2		6,9		

Figura 2.54 Hoja de cálculo con los resultados de las pruebas de valoración de la condición física.

2.3.4 Tratamiento de los datos

2.3.4.1 Obtención de las variables de estudio

Concluido el registro y procesamiento de los datos se pudieron obtener las variables de estudio de esta fase de la investigación. Las variables representan el promedio de los resultados obtenidos por los árbitros y árbitros asistentes.

Al realizar la prueba de carrera durante 12 min la variable obtenida fue la distancia total recorrida expresada en metros. En el caso de los árbitros dicho valor se obtuvo promediando los resultados obtenidos por los 11 árbitros que realizaron la prueba, mientras que el valor de los árbitros asistentes se obtuvo de la distancia media recorrida por los 22 árbitros asistentes.

La variable medida en las pruebas de 50 y 200 m fue el tiempo empleado en recorrer la distancia. Este tiempo correspondía al mejor registro obtenido al considerar las dos repeticiones realizadas sobre la distancia. Se obtuvieron los valores medios de los resultados de los árbitros ($n=11$) que realizaron las pruebas de los 50 y 200 m y de los árbitros asistentes ($n=22$) que completaron la prueba de los 50 m.

2.3.4.2 Tratamiento estadístico

Los resultados de las pruebas de valoración de la condición física se muestran como media $\pm$ desviación estándar de la media, indicándose entre paréntesis el rango de la medida.

La comparación de los resultados en las distintas pruebas entre los árbitros y árbitros asistentes se realizó utilizando una prueba de tipo t para muestras independientes.

El coeficiente de correlación de Pearson (r) se utilizó para estudiar las relaciones individuales entre distintas variables (por ejemplo, la distancia recorrida en los partidos y la distancia recorrida en la prueba de los 12 min). Se determinó también si la relación individual entre dos variables era significativa.

El nivel de significación establecido *a priori* fue de $p<0,05$. En el caso de lograr niveles de significación de $p<0.01$ y $p<0.001$ se indica también en el texto. En la realización de comparaciones múltiples entre las distintas variables el nivel de alpha se ajustó mediante el procedimiento corrector de Bonferroni.

2.3.5 Diseño de la investigación

2.3.5.1 Muestra

Dos días antes del inicio del Mundial sub-17 (11 de agosto de 2003), todos los árbitros ($n=11$) y árbitros asistentes ($n=22$) que iban a tomar parte en la competición (Tabla 2.9) se sometieron a las pruebas de valoración de la condición física que les habilitaba para participar en la misma.

Tabla 2.9 Listado de los árbitros y árbitros asistentes que realizaron las pruebas de valoración de la condición física.

Árbitro	Árbitro asistente 1	Árbitro asistente 2
AL GHAMDI, K. (ASA)	AL SHIHE, M. (OMA)	CALDERON, J. (BOL)
BRAAMHAAR, E. (HOL)	ANDREN, H. (SUE)	CRYANS, M. (ESC)
BRAZENAS, G. (ARG)	BRINK, A. (HOL)	DAMOO, J. (SEY)
DAMON, J. (RSA)	CAGNI, S. (ARG)	GHULOUM, E. (EAU)
HANSSON, M. (SUE)	CORONA, E. (BRA)	JIBILIZA, S. (RSA)
IRMATOV, R. (UZB)	GARWOOD, A. (JAM)	MESSAM, P. (BAH)
LOPES, H. (BRA)	MELLON, R. (SEY)	PASTRANA, C. (HON)
MAYLLET, E. (SEY)	MOLEFE, T. (RSA)	RAHMAN, M. (BAN)
PIPER, R. (TRI)	MORA, E. (CRC)	ROCHA, A. (BRA)
RAKAROI, L. (FIJ)	VUKE, G. (VAN)	TAUARO, D. (TAH)
RODRÍGUEZ, M. (MEJ)	YACOB, M. (MAS)	WITTBERG, S. (SUE)

Debido a que este grupo de árbitros fue el mismo que participó en la fase de análisis cinemático del juego las características antropométricas de los mismos

fueron descritas en la sección 2.1.5.1 aunque, a modo de resumen, se muestran en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10 Datos antropométricos (media $\pm$ desviación estándar) de los árbitros y árbitros asistentes que realizaron las pruebas físicas.

	Árbitros (n=11)	Árbitros asistentes (n=22)
Edad	33,4 $\pm$ 3,8	34,0 $\pm$ 2,9
Estatura (cm)	182,6 $\pm$ 7	175,8 $\pm$ 7,3
Peso (kg)	80,8 $\pm$ 11,1	73,3 $\pm$ 7,95
Experiencia internacional (años)	1,8 $\pm$ 1	2,7 $\pm$ 1,6

2.3.5.2 Protocolo

La sesión de valoración se desarrolló en horario de mañana, dos días antes del inicio de la competición, sobre una pista de atletismo de 400 m de cuerda de la ciudad de Helsinki. Todos los deportistas realizaron las pruebas con el mismo tipo de ropa deportiva suministrada por la propia FIFA. Antes de realizar las pruebas los árbitros y árbitros asistentes realizaron un mismo calentamiento, dividido en un parte general y otra específica, dirigido por el preparador físico de la FIFA para los árbitros.

Al tratarse de una competición de nivel mundial el proceso de evaluación exige respetar al máximo las consideraciones metodológicas al respecto que impone la Comisión de Arbitraje de la FIFA. Es por ello que el máximo responsable del

desarrollo adecuado de la sesión de evaluación y del cumplimiento de la normativa vigente fuese el Director Técnico de la Comisión de Arbitraje de la FIFA D. José María García-Aranda Encinar. En la realización de las mediciones colaboraron también otros componentes del personal técnico de la FIFA con experiencia previa en la realización de este tipo de pruebas.

El protocolo para la realización de la batería de pruebas físicas para la valoración de la condición física en los árbitros y árbitros asistentes está detallado por la Comisión de Arbitraje de la FIFA. Los árbitros deben alcanzar unos baremos mínimos al realizar las pruebas de carrera durante 12 min y de carrera sobre 50 y 200 m. Los árbitros asistentes siguen el mismo protocolo aunque están eximidos de realizar la prueba de carrera de 200 m.

La primera de las pruebas realizadas fue la carrera de velocidad sobre 50 m. El cronometraje de esta prueba se realizó con células fotoeléctricas (Figura 2.55).

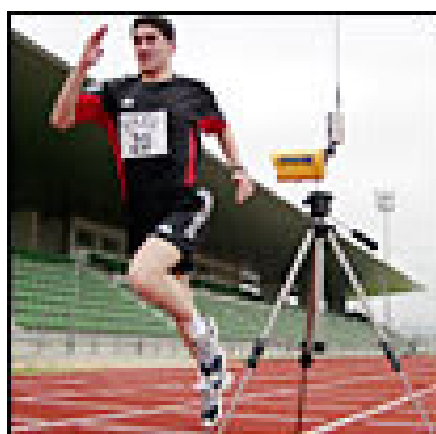


Figura 2.55 Cronometraje mediante células fotoeléctricas de la realización por un árbitro de la prueba de carrera de 50 m.

A continuación los árbitros realizaron la prueba de 200 m, cuyo cronometraje se realizó de forma manual (Figura 2.56). Al finalizar la carrera sobre dicha distancia y tras un descanso semiactivo los árbitros y árbitros asistentes realizaron la segunda serie de la prueba de velocidad de 50 m, para terminar realizando la última repetición de la carrera sobre 200 m.



Figura 2.56 Realización de la prueba de carrera sobre 200 m por parte de los árbitros.

La última de las pruebas realizadas por los jueces fue la carrera de 12 min (Figura 2.57). Al ser treinta y tres los sujetos evaluados se establecieron tres series distintas con los atletas, para evitar la aglomeración de deportistas en la pista. El cronometraje de los 12 min se realizó de manera manual.



Figura 2.57 Árbitros realizando la prueba de carrera de 12 min.

2.4 Diseño general de la investigación

Para obtener una visión global de la investigación la siguiente ilustración pretende plasmar, de un modo gráfico, el diseño experimental planteado. En la Figura 2.58 se resume la muestra empleada en cada una de las tres partes de la investigación, para así poder integrar toda la información en el modelo de análisis del rendimiento específico de los árbitros y árbitros asistentes.

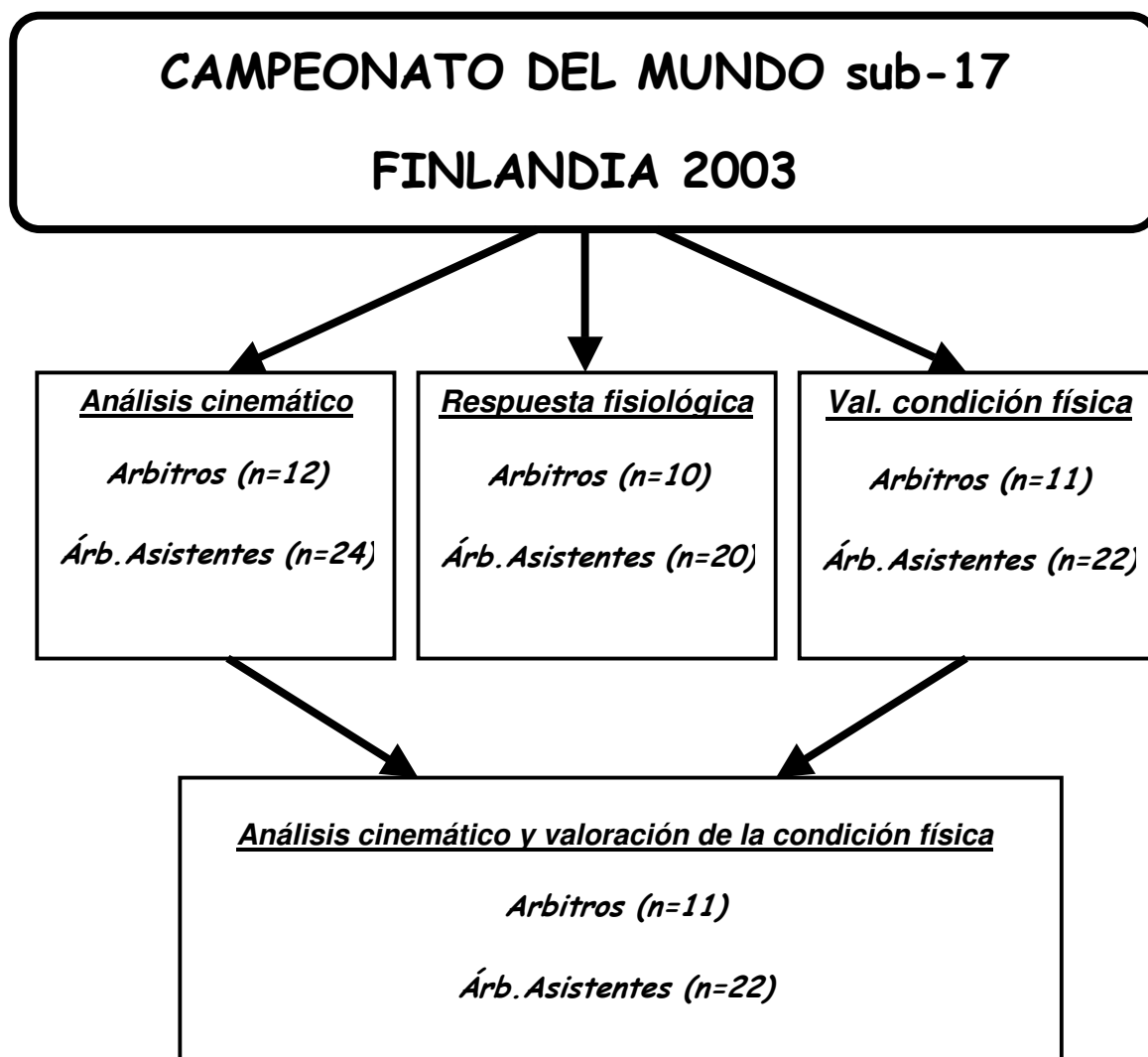


Figura 2.58 Diseño general del trabajo de investigación.

Antes del inicio del Campeonato se explicó a todos los jueces la naturaleza de la investigación y se obtuvo consentimiento escrito del Comité de Árbitros de la FIFA y de todos los árbitros y árbitros asistentes participantes en el torneo. El estudio fue diseñado y conducido de acuerdo a las directrices éticas reflejadas en la declaración de Helsinki del año 1964.

Capítulo 3.

RESULTADOS

3.1 Estadística descriptiva

3.2 Relaciones entre las variables



3.1 Estadística descriptiva

En este primer apartado del capítulo se expondrán los principales resultados obtenidos durante la investigación. Todos los datos se mostrarán indicando la media de la variable medida y su variabilidad (desviación estándar y rango). Las relaciones entre las variables se abordarán en la sección 3.2.

3.1.1 Distancia total recorrida

El valor medio de la distancia recorrida por los árbitros en los 12 partidos de competición analizados fue de 11.059 ± 935 (9.850-13.250) m. Durante los primeros tiempos de los partidos los árbitros cubrieron 5.699 ± 489 (5.175-6.910) m y en los segundos tiempos de los partidos la distancia recorrida fue de 5.360 ± 496 (4.675-6.340) m (Figura 3.1).

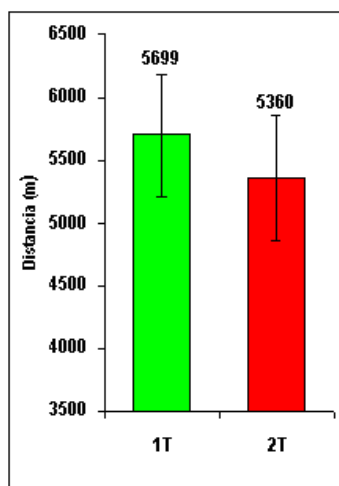


Figura 3.1 Distancia recorrida por los árbitros en el primer y segundo tiempo de los partidos.

Al dividir el partido en intervalos de 15 min (Figura 3.2) la máxima distancia la recorrían los árbitros en el cuarto de hora inicial del encuentro con un promedio de 1.981 ± 200 (1.716-2.334) m. Por el contrario los valores más reducidos se alcanzaban en los últimos 30 min de juego: 1.768 ± 222 (1.421-2.145) m (minutos 61-75) y 1.773 ± 145 (1.531-2.001) m (minutos 76-90).

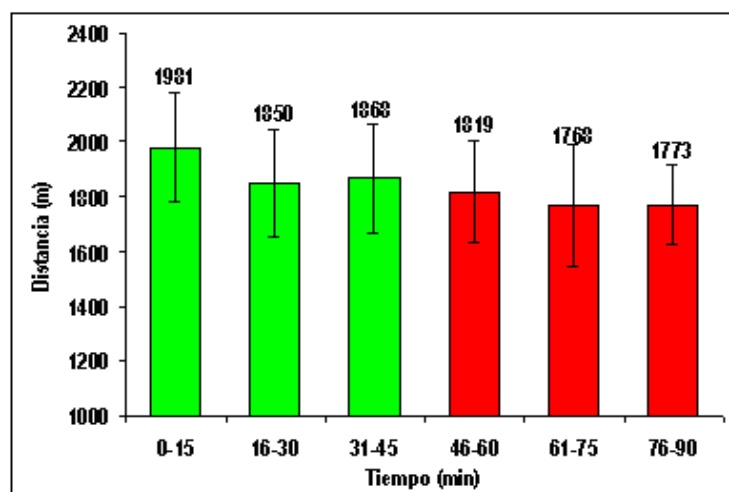


Figura 3.2 Evolución de la distancia recorrida por los árbitros en intervalos de 15 min.

La división de los encuentros en intervalos de 5 min permitió constatar como la máxima distancia la recorrían los árbitros entre los minutos 6 y 10 del primer período con un valor de 682 ± 56 (574-773) m. En el lado opuesto los registros más discretos se alcanzaban en el tramo final del partido en el intervalo de minutos 81-85: 546 ± 84 (425-682) m (Figura 3.3; página siguiente).

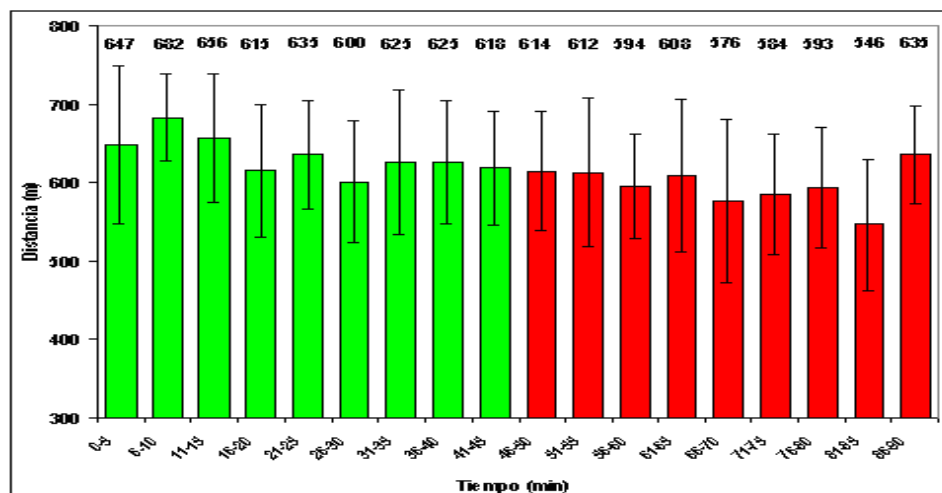


Figura 3.3 Evolución de la distancia recorrida por los árbitros en intervalos de 5 min.

En cada encuentro participan dos árbitros asistentes cuya ubicación en el terreno de juego está delimitada por fuera de la línea de banda. La misión de cada uno de los árbitros asistentes es vigilar una mitad del campo, siempre en el lado derecho del equipo que ataca. Esta situación en el terreno de juego hace que cada árbitro asistente actúe en relación a la predominancia ofensiva de uno u otro equipo.

Los árbitros asistentes ($n=24$) recorrieron como término medio durante los 12 partidos analizados una distancia de 6.137 ± 539 (5.324-7.323) m. La distancia recorrida disminuyó del primer al segundo período pasando de 3.179 ± 317 (2.651-3.872) m a 2.958 ± 310 (2.348-3.843) m (Figura 3.4).

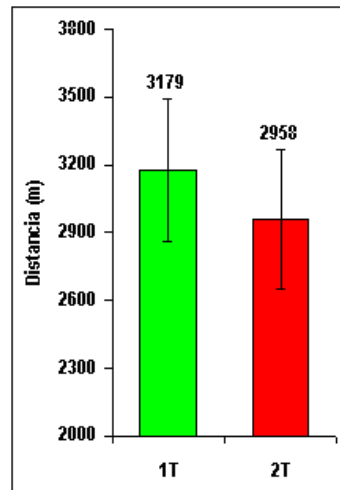


Figura 3.4 Distancia recorrida por los árbitros asistentes en el primer y segundo tiempo de los partidos.

La máxima distancia recorrida por los árbitros asistentes, al dividir el partido en intervalos de 15 min, se logró en el cuarto de hora inicial: 1.116 ± 152 (887-1.441) m. Por el contrario, la mínima distancia se conseguía entre los minutos 61-75 con un promedio de 943 ± 150 (718-1.256) m. En los últimos 15 min del encuentro la distancia recorrida fue de 977 ± 134 (726-1.319) m (Figura 3.5).

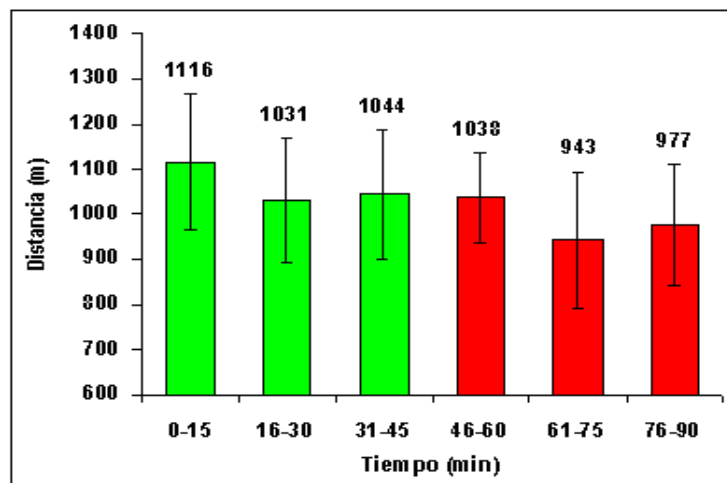


Figura 3.5 Evolución de la distancia recorrida por los árbitros asistentes en intervalos de 15 min.

La máxima distancia recorrida por los árbitros asistentes cuando el partido se analizaba en intervalos de 5 min se lograba entre los minutos 6 y 10 del primer tiempo con un promedio de 379 ± 61 (274-515) m. La Figura 3.6 representa la distribución de la distancia total recorrida por los árbitros asistentes en intervalos de 5 min a lo largo del encuentro.

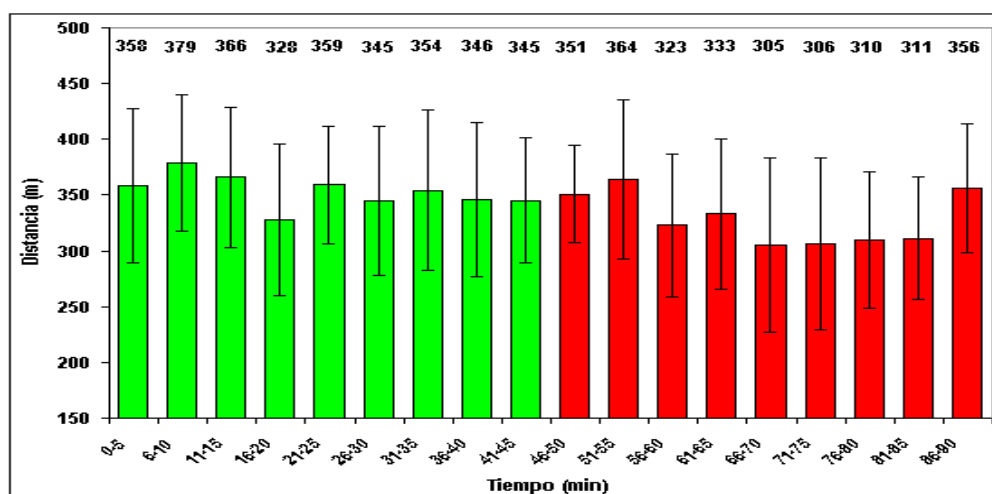


Figura 3.6 Evolución de la distancia recorrida por los árbitros asistentes en intervalos de 5 min.

Con el objetivo de analizar la relación existente entre la distancia total recorrida por los dos árbitros asistentes que participaban en un mismo partido -estudio de la variabilidad inter-individual de la respuesta de los deportistas- se utilizó el estadístico del coeficiente de variación. Para los 12 partidos analizados durante la presente investigación el coeficiente de variación de la distancia recorrida por los dos árbitros asistentes fue del 7,1%. En términos absolutos, la diferencia promedio de la distancia recorrida entre los dos asistentes que actuaron en el mismo encuentro fue de 626 ± 478 (43-1.680) m.

El tiempo real de juego durante los partidos fue de $47,83 \pm 6,58$ (41-59) min. Por tiempo real se entiende el tiempo en el que el balón estaba en juego, es decir, la duración total del partido (90 min) menos el tiempo empleado en las interrupciones (faltas, sustituciones, atención a jugadores lesionados, balones fuera del campo, etc.).

3.1.2 Clasificación de los desplazamientos en función de la intensidad de los mismos

La distancia total recorrida por los árbitros fue dividida en distintas categorías atendiendo a la velocidad instantánea de los desplazamientos. La Tabla 3.1 recoge los valores medios de las distancias recorridas en función de las velocidades de locomoción y su expresión porcentual en relación a la distancia total recorrida durante los partidos.

Tabla 3.1 Distancia recorrida (media $\pm$ desviación estándar) por los árbitros en distintos intervalos de velocidades lineales.

Categoría	Velocidades (m/s)	Distancia recorrida (m)	% sobre la distancia total
Parado	0-1	843 ± 120 (628-1.029)	$7,73 \pm 1,57$ (4,74-10,45)
Andar	1,01-2	2.402 ± 162 (2.069-2.701)	$21,88 \pm 2,43$ (15,62-23,96)
Trotar	2,01-3,6	3.721 ± 579 (2.875-4.804)	$33,58 \pm 3,87$ (27,10-39,99)
Correr	3,61-5	2.684 ± 518 (2.246-3.917)	$24,17 \pm 3,13$ (20,16-29,56)
Sprintar	más de 5,01	1.405 ± 453 (706-2.361)	$12,59 \pm 3,53$ (6,69-19,82)

De modo general se puede reseñar que los árbitros recorrían un $29,61 \pm 3,71$ (20,36-34,41)% de la distancia total en forma de acciones realizadas a una baja intensidad (menos de 2 m/s), un $33,58 \pm 3,87$ (27,10-39,99)% en forma de acciones a intensidades medias (de 2 a 3,6 m/s) y el $36,76 \pm 4,36$ (30,52-43,39)% restante en forma de acciones realizadas a una alta intensidad (más de 3,6 m/s). La Figura 3.7 representa de un modo gráfico esta distribución porcentual de la distancia recorrida en función de la intensidad de los esfuerzos.



Figura 3.7 Distribución porcentual de la distancia recorrida por los árbitros en categorías de intensidades según la velocidad de los desplazamientos.

Al expresar el rendimiento en relación al tiempo total de juego los árbitros permanecieron parados como media durante los encuentros 1481 ± 242 (1014-1820) s, lo que suponía aproximadamente el $27,42 \pm 4,49$ (18,78-33,70)% del tiempo total de juego. Además los árbitros andaban un $30,31 \pm 2,13$ (24,94-33,19)% del partido por lo que las acciones desarrolladas a una baja intensidad abarcaban el $57,73 \pm 5,70$ (43,72-64,74)% de la duración total del partido (Figura 3.8).

En la Figura 3.8 se puede comprobar también que en desplazamientos a una intensidad media (trotando) los árbitros ocuparon un $25,47 \pm 3,99$ (19,81-32,50)% del partido mientras en los de una alta intensidad abarcaron el $16,77 \pm 3,00$ (14,00-23,74)% del tiempo restante de juego. Dentro de esta categoría de esfuerzos los árbitros corrieron el $12,23 \pm 2,29$ (10,22-17,69)% y sprintaron el $4,55 \pm 1,38$ (2,43-7,30)%.

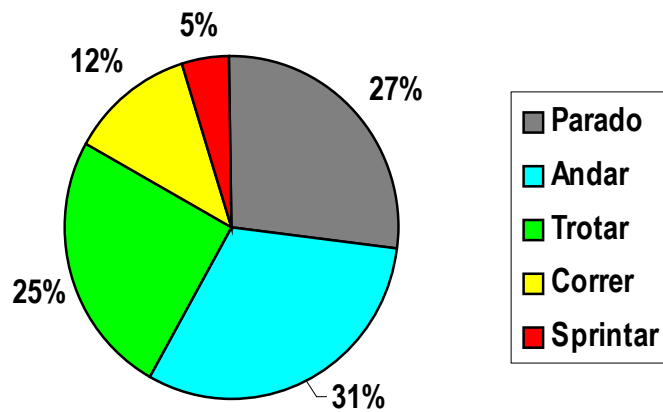


Figura 3.8 Distribución porcentual del tiempo empleado por los árbitros en distintas categorías de movimiento.

En relación a la clasificación de los desplazamientos en función del sentido de la locomoción -independientemente de la velocidad de los mismos- los árbitros recorrieron como término medio 1.706 ± 164 (1.430-2.121) m durante los partidos desplazándose de espalda. Esta distancia suponía un $15,43 \pm 2,17$ (12,32-18,45)% de la distancia total recorrida durante los partidos (Figura 3.9).

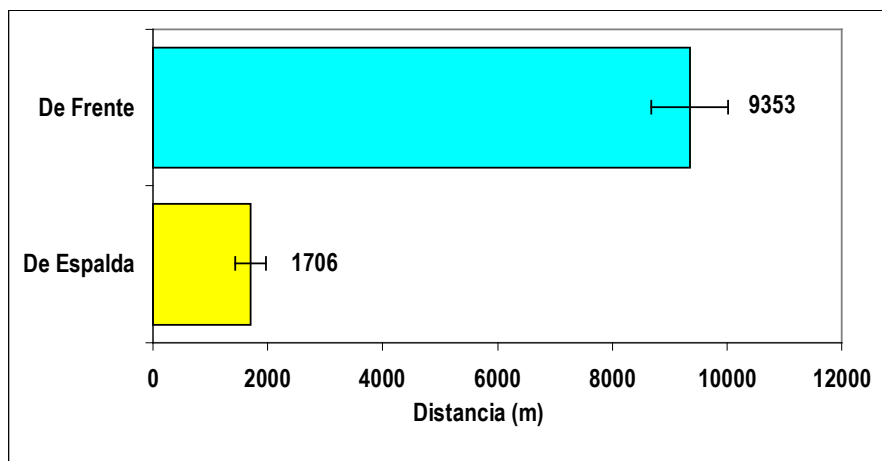


Figura 3.9 Distancia recorrida por los árbitros según el sentido de los desplazamientos.

La Figura 3.10 muestra como los árbitros emplearon una media del $17,92 \pm 2,94$ (13,39-20,16)% en forma de desplazamiento de espalda sobre los 90 min de duración de los partidos.

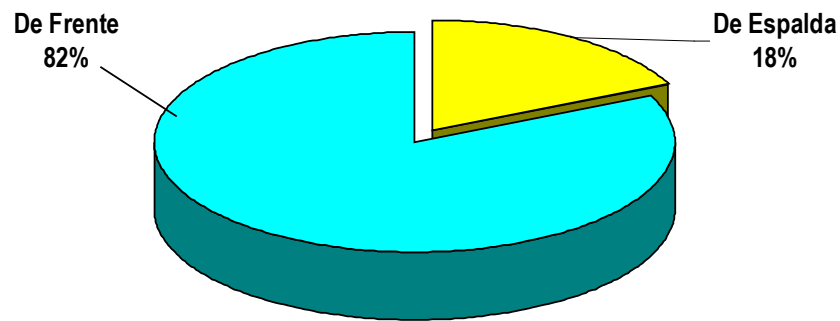


Figura 3.10 Porcentaje de tiempo empleado en desplazamientos de frente y de espalda por los árbitros.

La distribución de los desplazamientos de los árbitros asistentes en categorías se realizó siguiendo el mismo criterio que para los árbitros siendo la distancia recorrida en cada una de las categorías la siguiente (Tabla 3.2):

Tabla 3.2 Distancia recorrida (media $\pm$ desviación estándar) por los árbitros asistentes en distintos intervalos de velocidades lineales.

Categoría	Velocidades (m/s)	Distancia recorrida (m)	% sobre distancia total
Parado	0-1	1.213 ± 66 (1.100-1.364)	$19,92 \pm 2,21$ (15,24-24,30)
Andar	1,01-2	1.781 ± 149 (1.552-2.202)	$29,21 \pm 3,35$ (23,78-39,02)
Trotar	2,01-3,6	1.903 ± 301 (1.450-2.575)	$30,87 \pm 2,74$ (25,46-35,49)
Correr	3,61-5	818 ± 200 (453-1.229)	$13,21 \pm 2,38$ (8,03-18,25)
Sprintar	más de 5,01	409 ± 170 (118-704)	$6,54 \pm 2,39$ (2,05-10,15)

La distribución porcentual de la distancia recorrida por los árbitros asistentes (Figura 3.11) muestra como los árbitros asistentes recorrieron el $49,13 \pm 4,87$ (40,27-58,82)% de la distancia total en forma de desplazamiento a una baja intensidad (parado y andando), el $30,87 \pm 2,74$ (25,46-35,49)% a una intensidad media (trotando) y el $19,75 \pm 4,23$ (10,11-27,27)% restante a una alta intensidad (corriendo y sprintando).

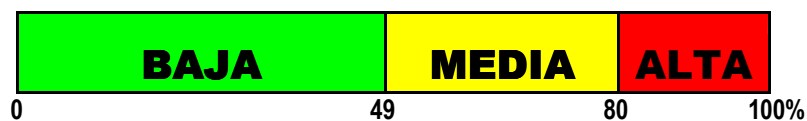


Figura 3.11 Distribución porcentual de la distancia recorrida por los árbitros asistentes en categorías de intensidades según la velocidad de los desplazamientos.

Al analizar los desplazamientos en función del tiempo empleado en cada categoría la representación gráfica (Figura 3.12) varía puesto que el $80,72 \pm 3,20$ (71,11-84,49)% del tiempo total de juego lo empleaba el árbitro asistente en acciones de baja intensidad, permaneciendo el $56,72 \pm 3,40$ (48,63-63,65)% del tiempo parado y el $24 \pm 1,97$ (21,24-29,52)% andando.

Adicionalmente en la Figura 3.12 se puede observar como los árbitros asistentes empleaban el tiempo restante de los encuentros realizando acciones a una media ($13,79 \pm 2,16$ (10,41-18,46)%) y a una elevada intensidad ($5,18 \pm 1,39$ (2,56-7,94)%). Dentro de esta última categoría el tiempo corriendo ocupaba el $3,82 \pm 0,93$ (2,15-5,67)% y sprintando el $1,35 \pm 0,55$ (0,41-2,28)%.

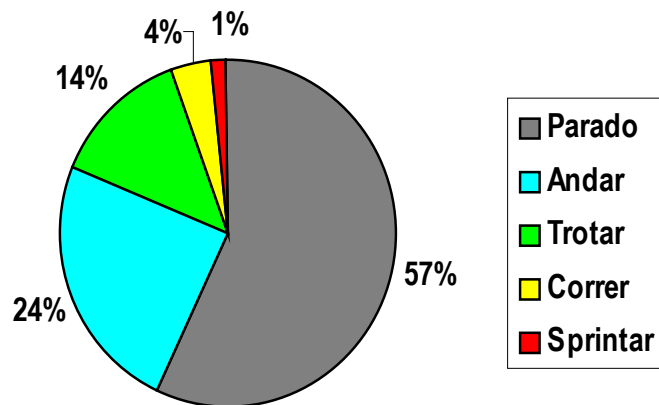


Figura 3.12 Distribución porcentual del tiempo empleado por árbitros asistentes en distintas categorías de movimiento.

Con el propósito de analizar la estabilidad del comportamiento motriz de los árbitros asistentes que participaban en un mismo partido se utilizó el estadístico del coeficiente de variación. El coeficiente de variación para los desplazamientos de los dos árbitros asistentes para la categoría “parado” fue del 3,72%, para “andar” del 5,66%, para “trotar” del 10,91%, para “correr” del 21,54% y para la categoría “sprintar” del 30,84%. En términos absolutos las diferencias al comparar la distancia recorrida por los dos árbitros asistentes en cada categoría de desplazamiento fueron de 64 ± 53 (2-151) m, 145 ± 116 (8-369) m, 300 ± 203 (23-728) m, 260 ± 239 (21-776) m y 164 ± 192 (1-99) m para las categorías de estar parado, andar, trotar, correr y sprintar, respectivamente.

Al clasificar los desplazamientos en función del modo de locomoción empleado se pudo comprobar como los árbitros asistentes recorrían una media de 1973 ± 199 (1639-2414) m en forma de desplazamientos laterales. Sobre la distancia total recorrida durante los encuentros esta distancia suponía el $32,15 \pm 5,17$ (26,1-39,21)% (Figura 3.13).

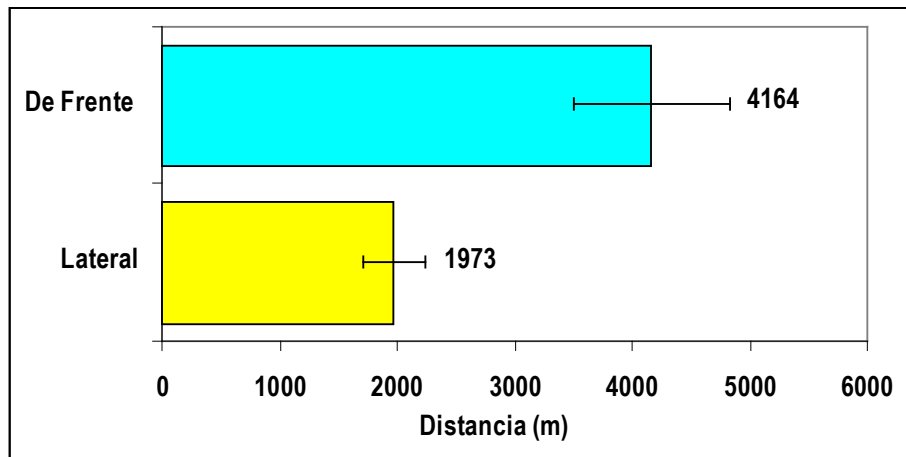


Figura 3.13 Distancia recorrida por los árbitros asistentes según el sentido de los desplazamientos.

En relación al tiempo el $45,65 \pm 7,51$ (38,42-55,63)% del partido los árbitros asistentes ocupaban una posición perpendicular al campo o desplazándose en forma de carrera lateral (Figura 3.14).

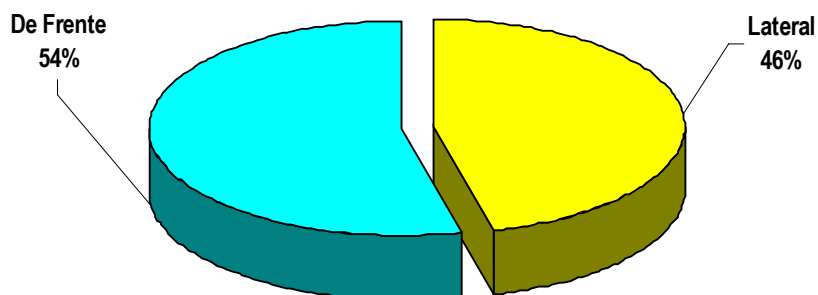


Figura 3.14 Porcentaje de tiempo empleado en desplazamientos de frente y laterales por los árbitros asistentes.

3.1.3 Características del ejercicio realizado a una alta intensidad

En el intento por profundizar en el conocimiento de la actividad realizada por los árbitros y los árbitros asistentes a una elevada intensidad, puesto que es este tipo de ejercicio el que caracteriza cualitativamente la intervención de los jueces en el juego, se analizó la distancia recorrida y el tiempo empleado por los deportistas con velocidades instantáneas que excedían los 3,6 m/s (13 km/h). Los esfuerzos que superaban este umbral de velocidad se agruparon en una categoría denominada “Ejercicio de alta intensidad”.

La distancia recorrida por los árbitros en esta categoría fue de 4.089 ± 769 (3.222-5.750) m, es decir, el $36,76 \pm 4,36$ (30,52-43,39)% de la distancia total recorrida durante los partidos. En la primera parte de los partidos la distancia recorrida fue de 2.208 ± 428 (1.587-3.181) m mientras que en el segundo tiempo disminuyó hasta los 1.881 ± 363 (1.471-2.569) m (Figura 3.15).

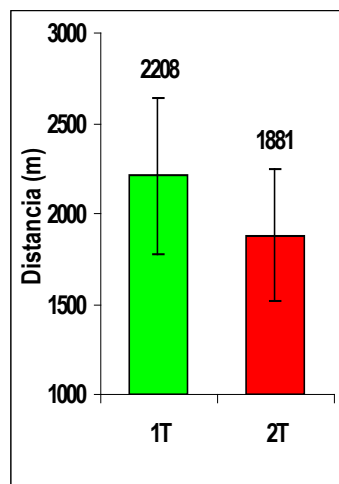


Figura 3.15 Distancia recorrida por los árbitros a una alta intensidad en los dos períodos de juego.

El tiempo total que los árbitros estuvieron corriendo a una velocidad superior a los 3,6 m/s durante los partidos tuvo un valor medio de 900 ± 160 (747-1.265) s representando un $16,77 \pm 3$ (14-23,74)% del tiempo total de juego. El tiempo en “Ejercicio de alta intensidad” en el primer tiempo fue de 485 ± 92 (371-706) s y en el segundo de 415 ± 72 (339-559) s (Figura 3.16).

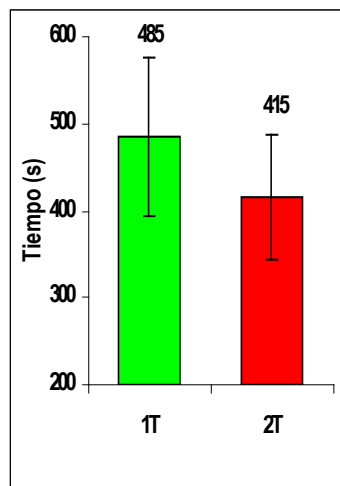


Figura 3.16 Tiempo empleado por los árbitros a una alta intensidad en los dos períodos de juego.

El tiempo medio empleado en “Ejercicio de alta intensidad” en intervalos de 15 min durante la totalidad del partido fue de $149,97 \pm 33,83$ (86-255) s. El tiempo máximo en esta categoría se logró en los primeros 15 min del partido, con un registro de $174,92 \pm 36,65$ (139-255) s. La menor cantidad de esfuerzos intensos ocurrieron entre los minutos 61-75: $136,42 \pm 30,89$ (86-177) s y durante el cuarto de hora final del partido: $138,75 \pm 17,87$ (114-173) s (Figura 3.17).

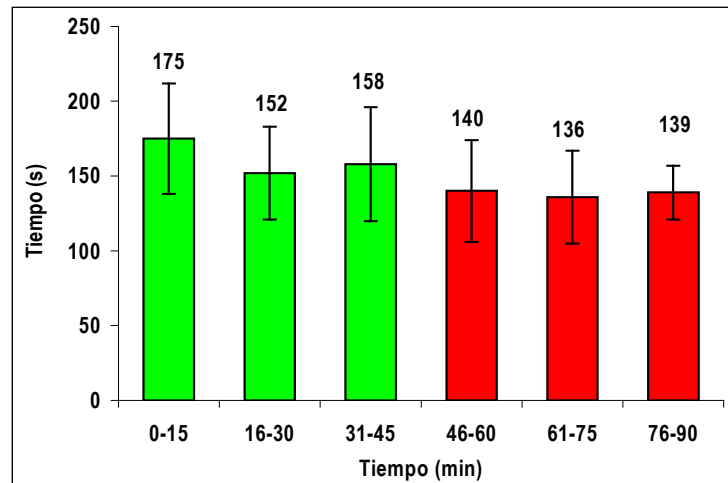


Figura 3.17 Evolución del tiempo empleado por los árbitros corriendo a velocidades superiores a 3,6 m/s en intervalos de 15 min.

Al dividir el partido en intervalos de 5 min el tiempo medio empleado en esfuerzos a una elevada intensidad fue de $50,08 \pm 14,46$ (18-98) s. El pico máximo en esta categoría de ejercicio se alcanzó entre los minutos 6 y 10 de partido con un valor medio de $63,67 \pm 9,84$ (49-77) s mientras que los registros más discretos de todo el partido se lograron entre los minutos 81 y 85: $39 \pm 7,87$ (29-55) s (Figura 3.18).

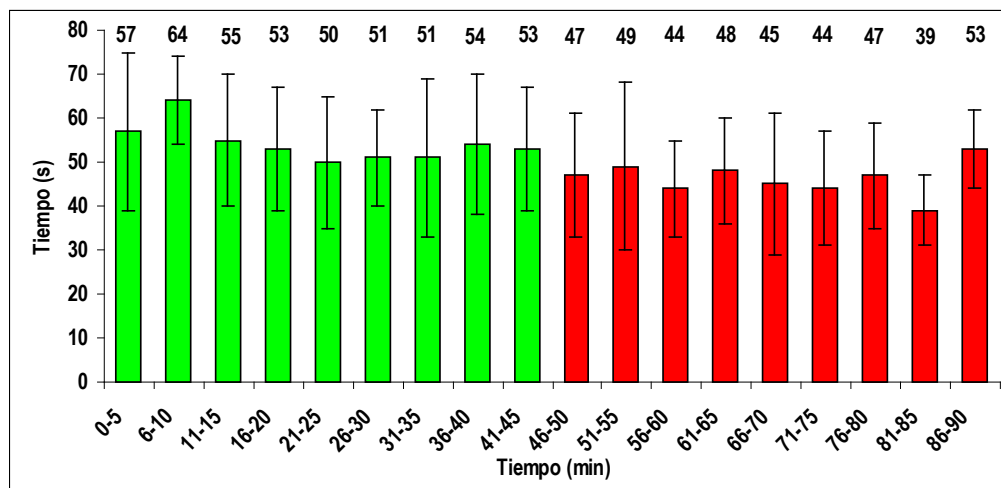


Figura 3.18 Tiempo empleado por los árbitros en ejercicio de alta intensidad cada 5 min.

La distancia recorrida por los árbitros asistentes en la categoría de “Ejercicio de alta intensidad”, con desplazamientos que superaban la velocidad lineal de 3,6 m/s, fue de 1.226 ± 342 (571-1.903) m lo que representaba el $19,75 \pm 4,23$ (10,11-27,27)% de la distancia total. La distancia recorrida en esta categoría en el primer tiempo fue de 653 ± 207 (282-999) m y en segundo de 573 ± 210 (281-1.160) m (Figura 3.19a).

El tiempo empleado en esta categoría de intensidad por los árbitros asistentes fue de 278 ± 75 (138-428) s (5,15% del tiempo total de juego). En los primeros 45 min de los partidos se emplearon como media 150 ± 47 (67-234) s en esfuerzos de intensidad alta mientras que tras el descanso se pasó a 130 ± 45 (69-260) s (Figura 3.19b).

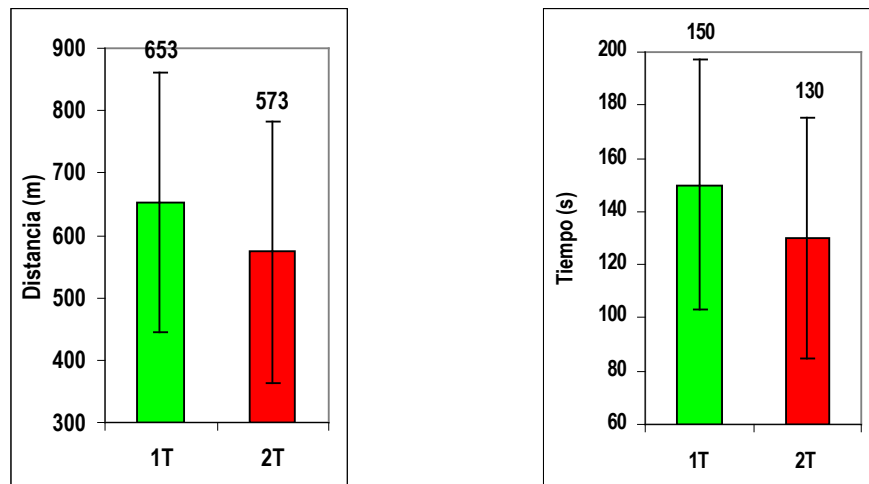


Figura 3.19 (a) Distancia recorrida por los árbitros asistentes a una alta intensidad en los dos períodos de juego; (b) Tiempo empleado por los árbitros asistentes en esfuerzos a una alta intensidad en los dos períodos de juego.

Al profundizar en la distribución del tiempo empleado en esfuerzos realizados a una velocidad instantánea superior a los 3,6 m/s se pudo observar como el tiempo medio en este tipo de ejercicio, al dividir el partido en intervalos de 15 min, fue de $46,28 \pm 18,80$ (10-97) s. El pico de máxima actividad lo tuvieron los árbitros asistentes en el cuarto de hora inicial del partido con un valor medio de $55,63 \pm 18,61$ (25-86) s mientras que el de menor actividad ocurrió entre los minutos 76 y 90: $39,13 \pm 16,61$ (10-83) s (Figura 3.20).

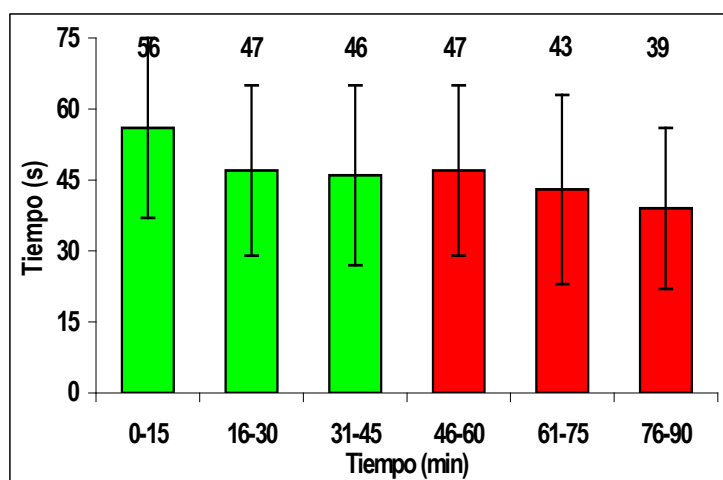


Figura 3.20 Evolución del tiempo empleado por los árbitros asistentes corriendo a velocidades superiores a 3,6 m/s en intervalos de 15 min.

3.1.4 Posicionamiento técnico

La Comisión de Arbitraje de la FIFA sugiere a los árbitros que adopten prioritariamente movimientos siguiendo una dirección diagonal por el campo. De este modo, al haber dos árbitros asistentes que ocupan las bandas de cada medio

campo, el árbitro se debe mover por una línea diagonal imaginaria en la que no existe una influencia operativa del árbitro asistente.

Durante los partidos de alto nivel los árbitros son evaluados por una serie de observadores externos que, a la conclusión de los partidos, deben emitir un informe crítico sobre la actuación del juez. Dentro de los aspectos más importantes de este informe están los relativos a la correcta aplicación del reglamento, la relación con los jugadores y sus asistentes, el estilo con el que dirige el juego, la utilización del lenguaje corporal para explicar sus decisiones ("body language") y, sobre todo, la calidad de su posicionamiento.

El empleo de la presente técnica experimental resulta particularmente útil para obtener datos relevantes relativos al correcto posicionamiento de los jueces. Por una parte, puesto que la fotogrametría en dos dimensiones permite determinar la posición exacta del deportista sobre el terreno de juego, se pueden representar todas las ocupadas a lo largo del encuentro (Figuras 3.21 y 3.23) y también es posible realizar un análisis de las trayectorias seguidas durante los desplazamientos (Figura 3.22).

A partir de este tipo de ilustraciones se determina si los deportistas han seguido una correcta dirección en los movimientos o se conoce las zonas del campo en las que el árbitro ha tenido una mayor presencia. Por otra lado, la metodología empleada durante la investigación indica la distancia a la que el árbitro sigue el juego, a la que se señala las infracciones (Figuras 3.24 a 3.27) o la distancia del árbitro asistente a la línea del fuera de juego (Figuras 3.28 y 3.29).

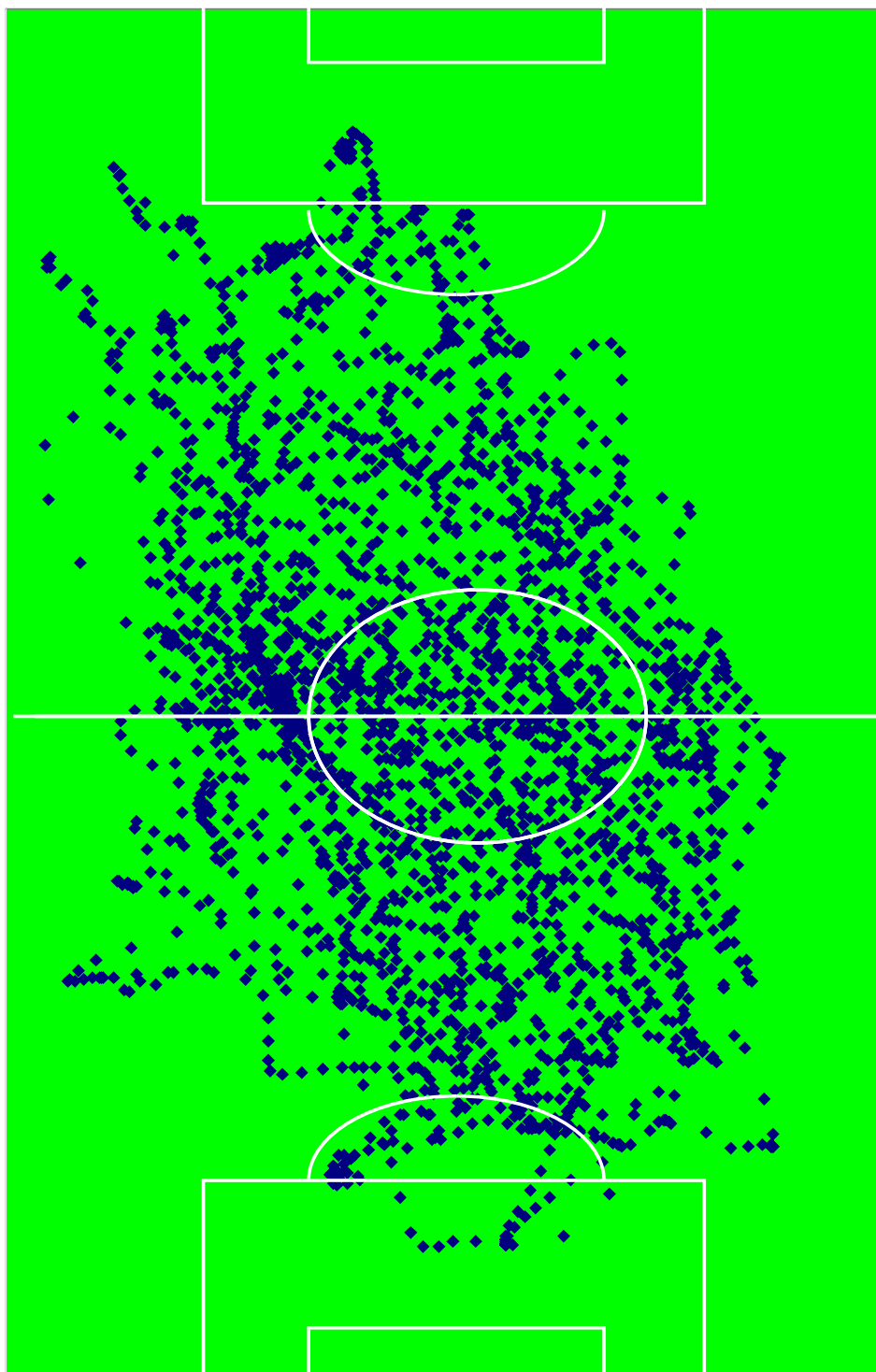


Figura 3.21 Representación gráfica de las posiciones ocupadas por el árbitro en el primer tiempo del partido China-Colombia.

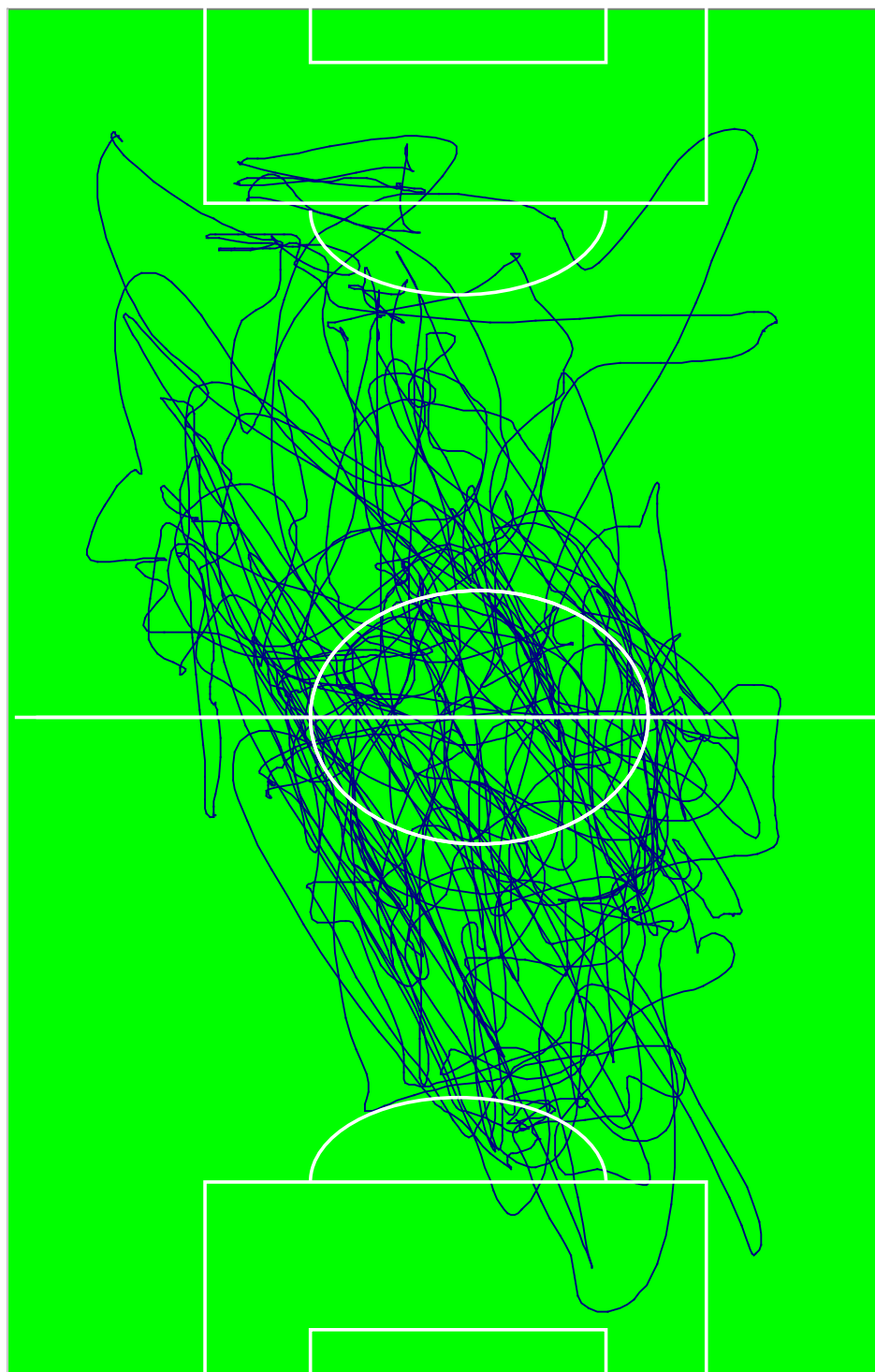


Figura 3.22 Representación gráfica de las trayectorias seguidas en los desplazamientos por el árbitro en el segundo tiempo del partido China-Colombia.

En el caso de los árbitros asistentes el campo de movimiento está muy limitado por el reglamento. A modo de ejemplo la Figura 3.23 muestra la posición de los dos árbitros asistentes que participaron en un mismo partido ilustrando las posibles aplicaciones adicionales que puede tener la presente técnica experimental.

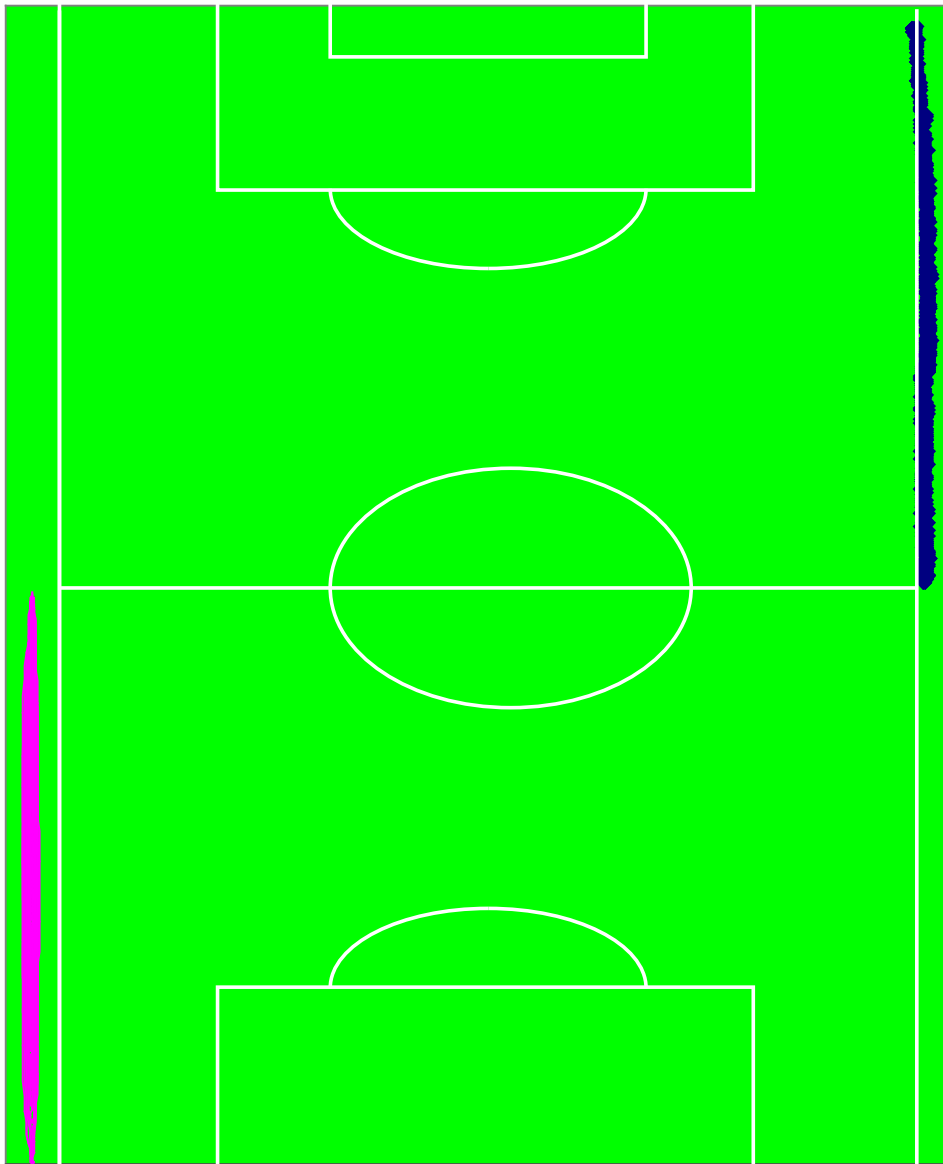


Figura 3.23 Posiciones ocupadas por los dos árbitros asistentes del partido China-Colombia.

Tal y como se indicó anteriormente la calidad del posicionamiento del árbitro se puede evaluar atendiendo a la distancia a la que se indican las infracciones. El número total de infracciones señaladas en los 12 encuentros analizados fue de 408, siendo la media de faltas por encuentro de $34 \pm 9,13$ (18-45). Las infracciones indicadas se clasificaron en cuanto al minuto de juego (tiempo) y a la zona del terreno (espacio) en las que ocurrieron.

En los primeros tiempos de los partidos se señalaron un total de 213 faltas lo que da una media de $17,75 \pm 5,10$ (9-24) infracciones por partido, mientras que en los segundos períodos la media fue de $16,25 \pm 5,05$ para un total de 195 infracciones (Figura 3.24a). Al analizar la distribución de los incidentes en intervalos de 15 min, se observó una distribución uniforme de los mismos (Figura 3.24b), a excepción de los últimos 15 min del encuentro, intervalo donde los árbitros señalaban un menor número de infracciones.

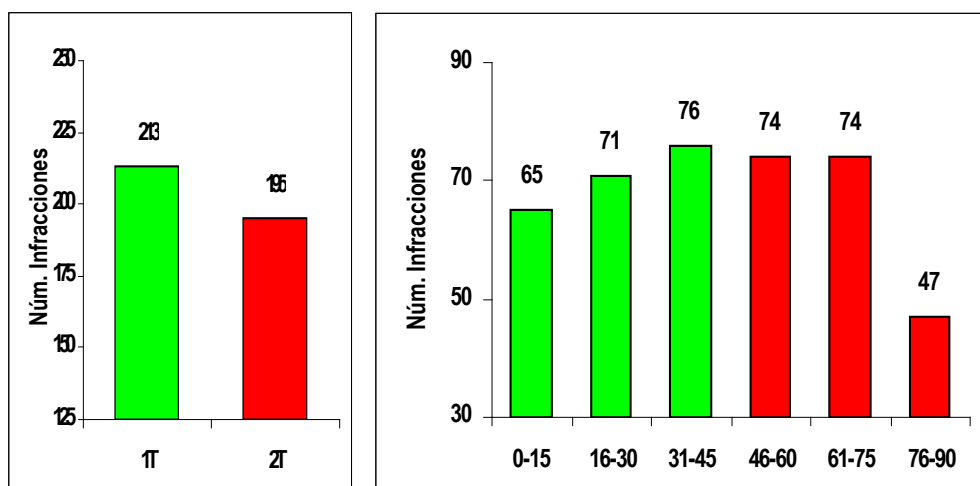


Figura 3.24 Frecuencia de infracciones señaladas en: (a) primer y segundo período; (b) intervalos de 15 min.

Para analizar el lugar en el que se señalaban las infracciones el terreno de juego se dividió en ocho zonas, cuatro para cada mitad del campo (Figura 2.7; página 277). Debido a la simetría del campo y para el cómputo y análisis de los resultados estas ocho zonas se agruparon a su vez en cuatro. El número de faltas señaladas en cada una de las cuatro zonas se puede observar en la Figura 3.25.

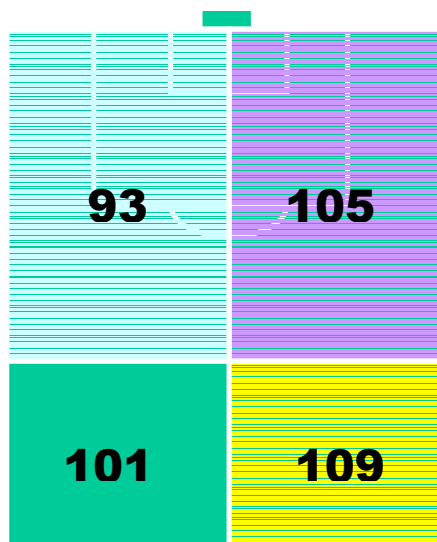


Figura 3.25 Frecuencia de infracciones señaladas en cada una de las cuatro zonas en las que se dividía el campo

La distancia media a las infracciones para los 90 min de partido, sin clasificar las mismas por zonas, fue de $16,46 \pm 2,04$ (1,75-41,75) m. En el primer tiempo de los encuentros la media de la distancia a las faltas fue de $16,18 \pm 2,60$ (13,08-21,16) m siendo en el segundo periodo de $16,69 \pm 1,94$ (14,70-20,78) m (Figura 3.26a).

Los valores medios a los que se señalaban las faltas al dividir el partido en intervalos de 15 min se pueden observar en la Figura 3.26b. La distancia media por intervalo de 15 min presenta una traza bastante regular para todo el partido.

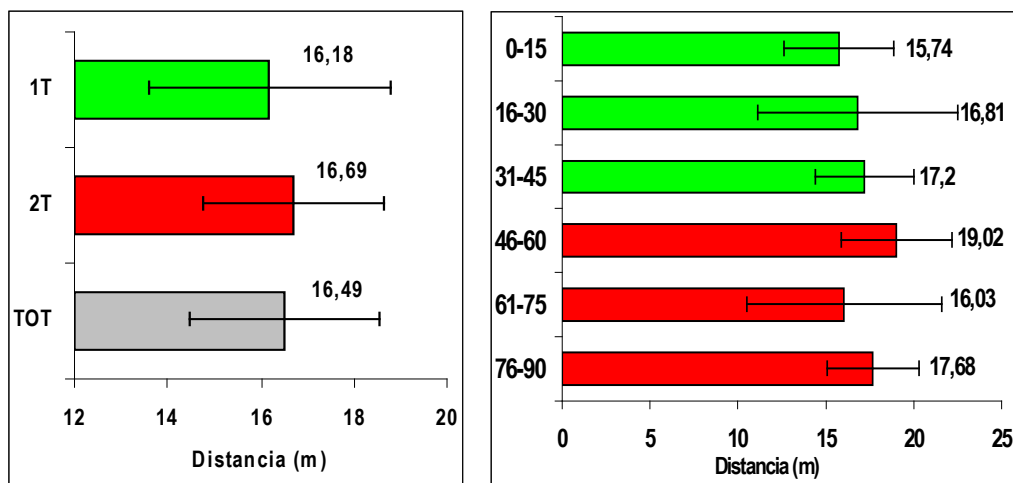


Figura 3.26 Distancia a las infracciones señaladas en: (a) primer y segundo período; (b) intervalos de 15 min.

Al clasificar las infracciones según la zona en la que eran señaladas se pudo comprobar que en la zona de ataque derecha las faltas se señalaban a una distancia media de $22,97 \pm 8,23$ (7,28-41,75) m, distancia superior a la media de las otras tres zonas (Figura 3.27). La distancia media a las faltas en la zona de ataque izquierda fue de $13,82 \pm 6,49$ (2,18-34,92) m, en la zona central izquierda de $13,34 \pm 6,50$ (1,75-37,53) m y en la zona central derecha de $15,35 \pm 6,61$ (3,58-34,52) m. Este hecho se debía principalmente a que en el lado derecho del ataque se sitúa siempre un árbitro asistente, lo que permite al árbitro seguir el juego más lejos cuando el balón entra en esta zona, al disponer del asesoramiento del juez auxiliar cuando la acción se desarrolla en esta parcela del terreno.

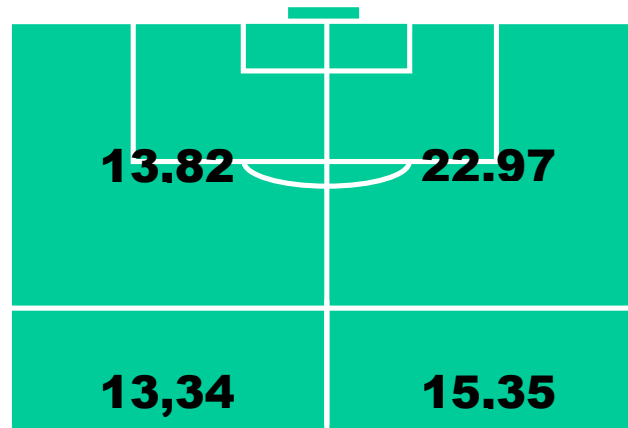


Figura 3.27 Distancia media a las infracciones en función de la zona en las cuales fueron señaladas.

El número total de fueros de juego señalados por los árbitros asistentes durante los partidos analizados fue de 58 con una media por partido de $4,83 \pm 2,76$ (1-10). Este tipo de infracciones fueron clasificadas también en función del minuto de juego (tiempo) y zona del campo (espacio) en el que ocurrían.

Durante los primeros tiempos de los partidos se señalaron una total de 27 fueros de juego, con un promedio de $2,25 \pm 1,14$ (1-4) por partido. En el segundo tiempo el número de posiciones antirreglamentarias indicadas fue de 31 siendo la media de $2,58 \pm 2,47$ (0-8) por partido (Figura 3.28a).

En relación a la zona del terreno en la cual se señalaban los fueros de juego en la zona de ataque se indicaron un total de 33 posiciones antirreglamentarias, lo que da una media de $2,75 \pm 1,42$ (1-5) infracciones mientras que en la zona media el promedio fue de $2,08 \pm 1,98$ (0-6) para un total de 25 fueros de juego (Figura 3.28b).

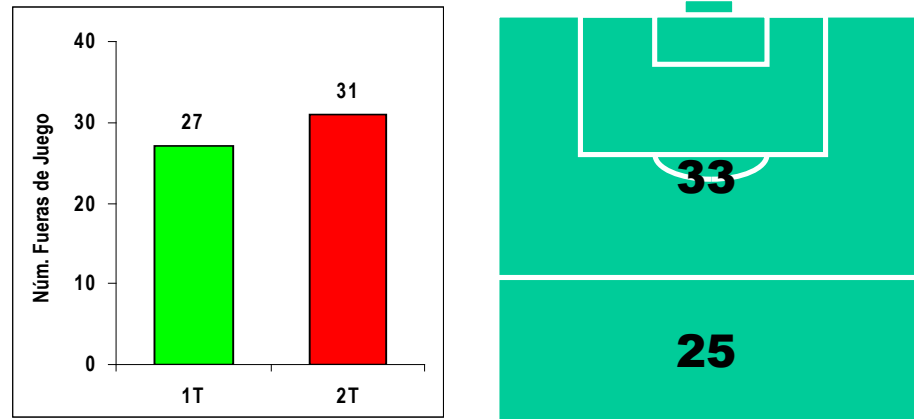


Figura 3.28 Frecuencia de fueros de juego señalados en función de (a) Período de juego; (b) Zona del terreno de juego.

La distancia media del árbitro asistente a la línea del fuera de juego para todo el partido fue de $1,36 \pm 1,31$ (0,02-6,41) m. En el primer tiempo de los partidos la distancia media fue de $1,33 \pm 1,14$ (0,03-5,07) m mientras que en el segundo período fue de $1,38 \pm 1,46$ (0,02-6,41) m (Figura 3.29a). En relación a la zona del terreno de juego la distancia media al fuera de juego en la zona de ataque fue de $1,32 \pm 1,47$ (0,03-6,41) m y de $1,41 \pm 1,09$ (0,02-4,17) m en la zona media (Figura 3.29b).

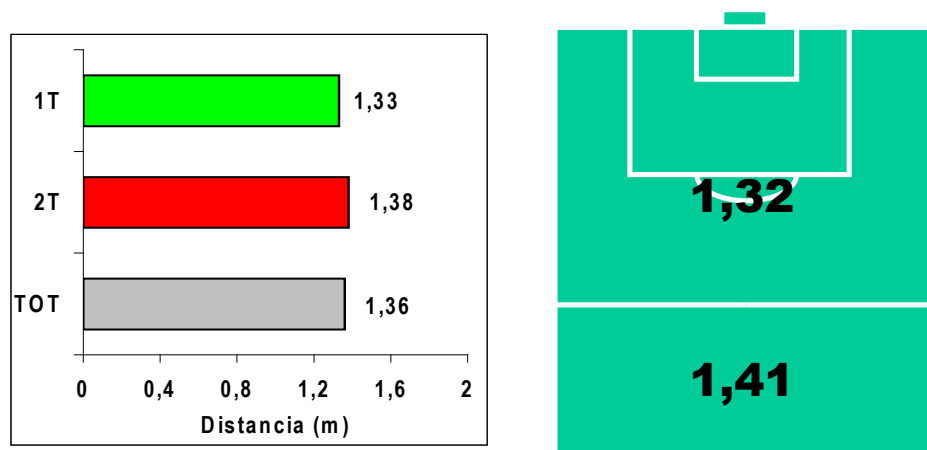


Figura 3.29 Distancia de los árbitros asistentes a la línea del fuera de juego en función de (a) Período de juego; (b) Zona del terreno de juego.

3.1.5 Frecuencia cardiaca

El registro de la frecuencia cardiaca durante la realización de una actividad deportiva suele emplearse para realizar una estimación del gasto energético que supone el esfuerzo. De modo general la respuesta de la frecuencia cardiaca durante el ejercicio se comporta de una manera lineal a la intensidad del mismo de manera que al aumentar la intensidad se incrementa la sollicitación cardiaca para corresponder a las mayores exigencias metabólicas del esfuerzo.

La frecuencia cardiaca resulta ser un parámetro relativamente sencillo de registrar en la actualidad debido al desarrollo de sistemas telemétricos portátiles – pulsómetros- que son compatibles con múltiples prácticas deportivas. Estos pulsómetros registran las pulsaciones del corazón durante la actividad competitiva y van equipados con una pequeña memoria que permite el almacenamiento de los datos.

Los datos registrados durante el esfuerzo deben ser tratados matemáticamente para facilitar su posterior interpretación. Este tipo de procedimientos se realizan habitualmente utilizando programas informáticos específicamente desarrollados para tal efecto. El volcado de los datos desde el pulsómetro al ordenador permite la representación de la curva de la frecuencia cardiaca en función del tiempo. La Figura 3.30 muestra, a modo de ejemplo, el comportamiento de la frecuencia cardiaca de uno de los árbitros asistentes en el partido correspondiente a la final del Campeonato del Mundo sub-17 del año 2003.

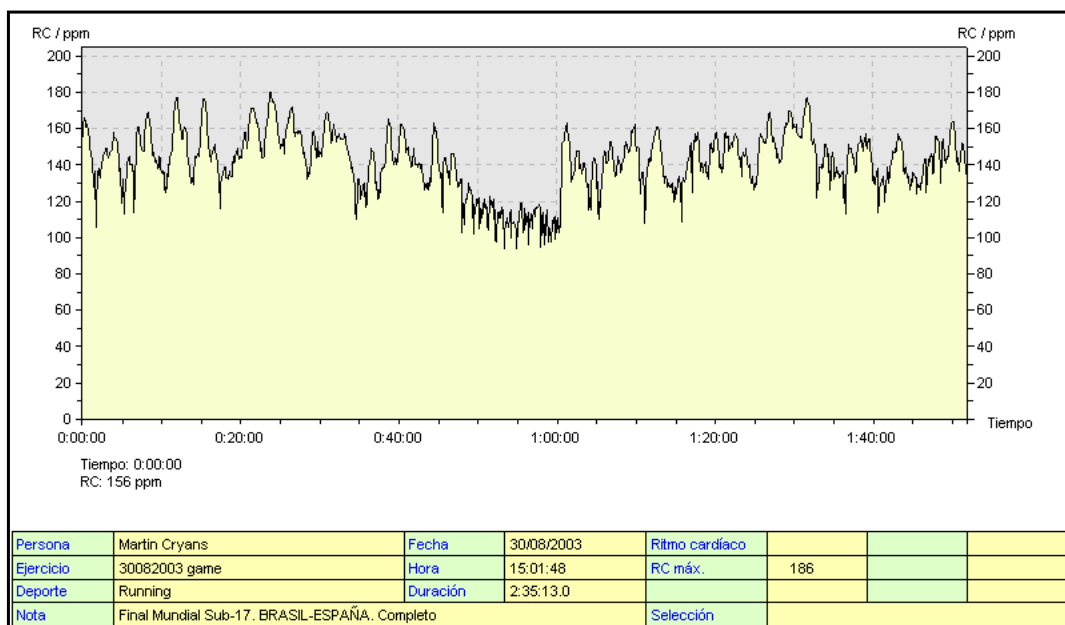


Figura 3.30 Evolución de la frecuencia cardiaca durante la final del Campeonato del Mundo sub-17 para un árbitro asistente.

A pesar de que el empleo de pulsómetros durante el arbitraje no resulte molesto, para evitar que supusiese una fuente de stress adicional para los jueces no habituados a su uso su utilización durante los partidos de competición se hizo de una manera opcional dando lugar a que el número final de registros obtenidos (diez partidos de árbitros y veinte de árbitros asistentes) fuese inferior al inicialmente pretendido. En cualquier caso la presentación de estos datos proporciona información relevante de cara a interpretar las demandas del juego en cada población de deportistas y contribuye a definir el perfil de exigencia característico de cada juez, complementando los datos obtenidos en el análisis cinemático del juego.

La frecuencia cardiaca media lograda por los árbitros en los diez partidos analizados fue de $157,30 \pm 3,63$ (153-163) p/min lo que suponía el $83,36 \pm 1,28$ (81,48-85,19)% de la $FC_{máx}$ de los deportistas. En los primeros tiempos de los encuentros la frecuencia cardiaca media fue de $159,70 \pm 4,37$ (154-166) p/min

($85,04 \pm 2$ ($82,01-87,83$)% de la $FC_{\text{máx}}$) mientras que en los segundos períodos fue de $154,9 \pm 3,25$ ($151-161$) p/min ($82,49 \pm 1,65$ ($80,95-85,19$)% de la $FC_{\text{máx}}$) (Figura 3.31).

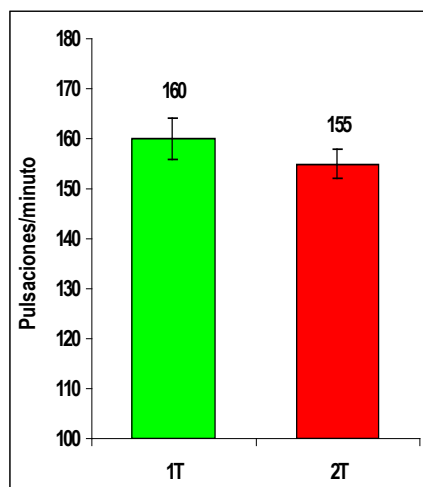


Figura 3.31 Frecuencia cardíaca media durante el primer y segundo tiempo en los árbitros.

Los picos de $FC_{\text{máx}}$ los alcanzaron los árbitros en todos los casos durante los primeros periodos de los partidos siendo la media de estos valores $183 \pm 4,32$ ($178-189$) p/min, lo que representaba el $97,72 \pm 2,44$ ($94,18-100$)% de la $FC_{\text{máx}}$ de los sujetos. Tras el descanso los picos de $FC_{\text{máx}}$ alcanzados fueron de $178,86 \pm 3,76$ ($171-183$) p/min, representando el $94,47 \pm 3,13$ ($90,48-100$)% de la $FC_{\text{máx}}$.

El análisis de la respuesta de la frecuencia cardíaca en intervalos de 15 min a lo largo del partido permitió la observación de valores medios más elevados durante el cuarto de hora inicial de juego $165,56 \pm 5,94$ ($156-173$) p/min. La Figura 3.32 muestra la evolución de los registros de frecuencia cardíaca media durante los 90

min siendo los valores más reducidos los logrados en la franja final del encuentro $152,44 \pm 8,88$ (133-153) p/min.

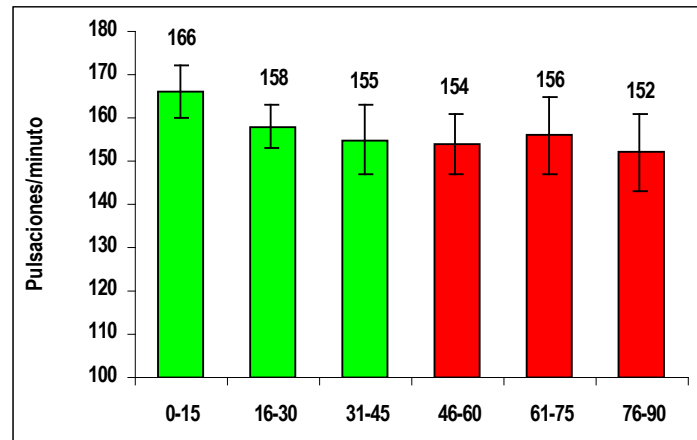


Figura 3.32 Evolución de la frecuencia cardíaca media de los árbitros en intervalos de 15 min durante los partidos de competición.

Al agrupar la frecuencia cardíaca por intervalos de pulsaciones absolutas los árbitros estuvieron el $1,02 \pm 0,90$ (0-2,75)% por debajo de las 110 p/min. En el intervalo de 111-130 p/min estuvieron el $7,43 \pm 3,22$ (3,10-14,65)%, en el intervalo de pulsaciones 131-150 el $32,81 \pm 5,85$ (21,70-42,03)%, entre 151-170 p/min el $46,37 \pm 5,80$ (37,38-55,1)% y por encima de las 171 p/min el $12,37 \pm 5,23$ (4,45-21,8)% (Figura 3.33).

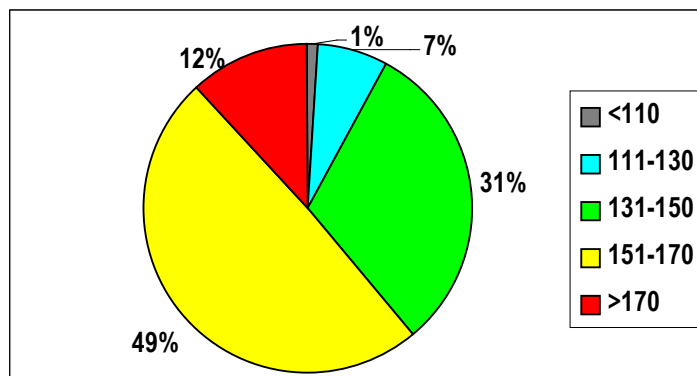


Figura 3.33 Distribución porcentual del tiempo empleado por los árbitros en cada intervalo de pulsaciones absolutas.

La clasificación de los esfuerzos en intervalos en relación a la frecuencia cardíaca máxima de los deportistas permite establecer en un $2,34 \pm 1,97$ (0,25-6,1)% el tiempo en que los árbitros estuvieron en la categoría “Recuperación pasiva”. En la categoría “Recuperación activa” los árbitros estuvieron el $17,59 \pm 4,70$ (9,05-26)%, en la categoría “Media intensidad” el $38,82 \pm 4,78$ (28,05-45)%, en “Alta intensidad” el $32,04 \pm 6,67$ (20,45-40,35)% y en la categoría de esfuerzos a la “Máxima intensidad” el $9,21 \pm 3,16$ (6,95-15,25)% (Figura 3.34).

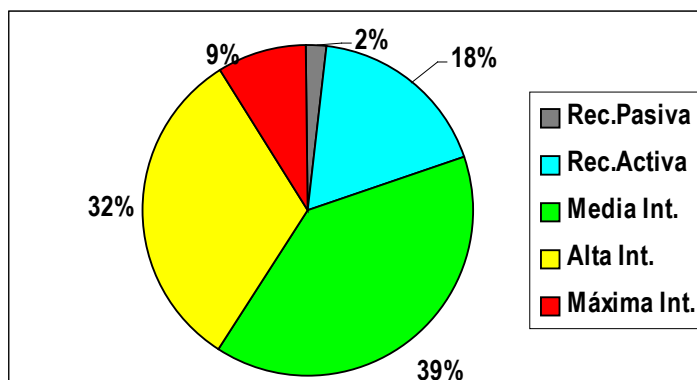


Figura 3.34 Distribución porcentual del tiempo empleado en cada categoría de esfuerzo en relación a la frecuencia cardíaca máxima del árbitro.

La frecuencia cardiaca media para las veinte observaciones realizadas sobre los árbitros asistentes fue de $144,85 \pm 8,48$ (126-158) p/min. En términos relativos estos valores suponían un $77,33 \pm 3,99$ (67,84-83,60)% de la $FC_{\text{máx}}$ de cada deportista.

En los primeros 45 min de los partidos la frecuencia cardiaca de los árbitros asistentes tuvo un valor promedio de $147 \pm 9,70$ (128-162) p/min siendo estos valores el $78,51 \pm 4,77$ (69,19-85,71)% de la $FC_{\text{máx}}$ del juez. En los segundos periodos la media de la frecuencia cardiaca fue de $142,52 \pm 8,55$ (123-154) p/min ($76,11 \pm 4,02$ (66,49-81,48)% de la $FC_{\text{máx}}$) (Figura 3.35).

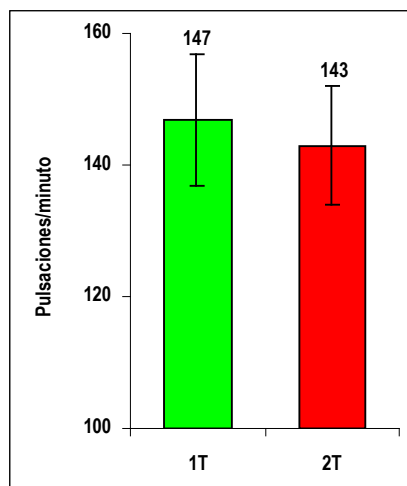


Figura 3.35 Frecuencia cardiaca media durante el primer y segundo tiempo en los árbitros asistentes.

Los registros más altos de frecuencia cardiaca se alcanzaron en todos los casos durante los primeros tiempos de los partidos, con un valor promedio de $177,33 \pm 7,74$ (160-189) p/min, lo que suponía un $94,72 \pm 3,61$ (86,49-100)% de la $FC_{\text{máx}}$. En los segundos periodos de juego los picos máximos de frecuencia cardiaca fueron

más reducidos, con una media de $170,86 \pm 7,82$ (151-183) p/min, representando el $91,27 \pm 3,79$ (81,62-98,39)% de la $FC_{\text{máx}}$.

En relación a la evolución de los valores de frecuencia cardiaca durante el partido los árbitros asistentes lograron los registros más elevados durante los primeros 15 min del partido $151 \pm 11,63$ (127-171) p/min. Por el contrario, los valores más reducidos se alcanzaron en el cuarto de hora final del juego, con un promedio de $141,10 \pm 10,88$ (120-155) p/min (Figura 3.36).

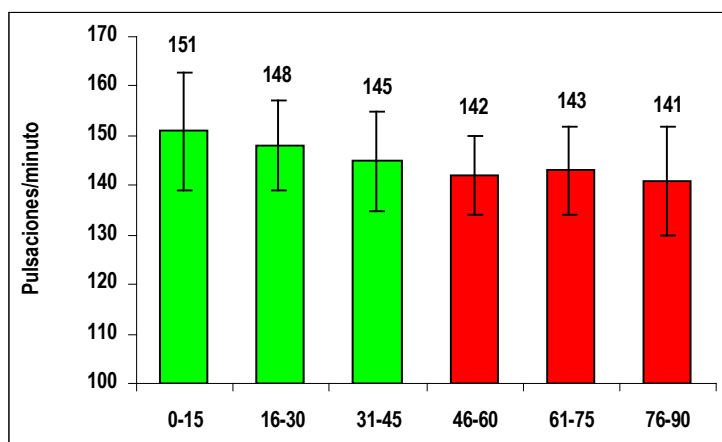


Figura 3.36 Evolución de la frecuencia cardiaca media de los árbitros asistentes en intervalos de 15 min durante los partidos de competición.

Al clasificar los esfuerzos atendiendo a intervalos de pulsaciones previamente fijados se pudo comprobar como los árbitros asistentes estuvieron un $1,90 \pm 2,49$ (0-8,70)% del tiempo total de juego por debajo de 110 p/min. Entre 111-130 p/min estuvieron el $17 \pm 13,52$ (1,02-52,70)%, entre 131-150 p/min el $40,36 \pm 9,61$ (21,70-57,04)%, en el intervalo de 151-170 p/min el $34,61 \pm 14,34$ (5,85-54,89)% y por encima de las 171 p/min el $6,14 \pm 6,05$ (0-21,85)% (Figura 3.37).

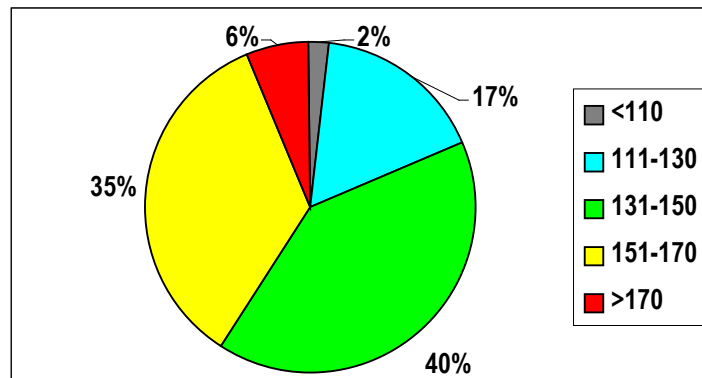


Figura 3.37 Distribución porcentual del tiempo empleado por los árbitros asistentes en cada intervalo de pulsaciones.

Cuando los datos se agruparon en intervalos en relación a la $FC_{\text{máx}}$ de los deportistas se observó que los árbitros asistentes estuvieron un $7,83 \pm 8,51$ (0,10-29,85)% en la categoría de “Recuperación pasiva”. El tiempo invertido en la categoría “Recuperación activa” fue del $27,57 \pm 10,65$ (10,30-50,10)%, en la categoría “Media intensidad” el $42,86 \pm 9,71$ (19,05-57,50)%, en la categoría “Alta intensidad” el $20,09 \pm 11,52$ (1-40,35) p/min y, por último, en la categoría “Máxima intensidad” el $1,62 \pm 2,98$ (0-12,25)% (Figura 3.38).

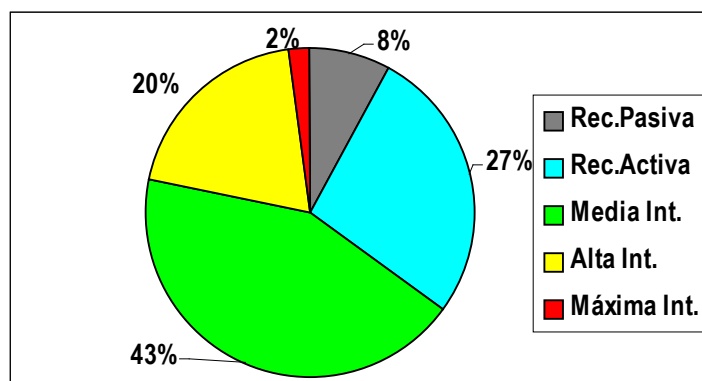


Figura 3.38 Distribución porcentual del tiempo empleado en cada categoría de esfuerzo en relación a la frecuencia cardíaca máxima del árbitro asistente.

3.1.6 Valoración de la condición física

La batería de pruebas físicas que los jueces debían superar antes del inicio del Campeonato comprendían un test de carrera de 12 min de duración en el que el objetivo era recorrer la mayor distancia posible y dos pruebas sobre distancias más cortas, 200 y 50 m en las que se cronometraba el tiempo empleado en recorrer la distancia. El test de carrera de 200 m pertenecía únicamente al protocolo de valoración de la condición física de los árbitros por lo que los árbitros asistentes no debían completarla.

Los valores obtenidos por los árbitros en la prueba de carrera durante 12 min fueron ligeramente superiores a los de los árbitros asistentes ya que los árbitros recorrieron una media de 2.996 ± 140 (2.750-3.190) m mientras que los árbitros asistentes alcanzaron como media los 2.962 ± 135 (2.750-3.362) m (Figura 3.39).

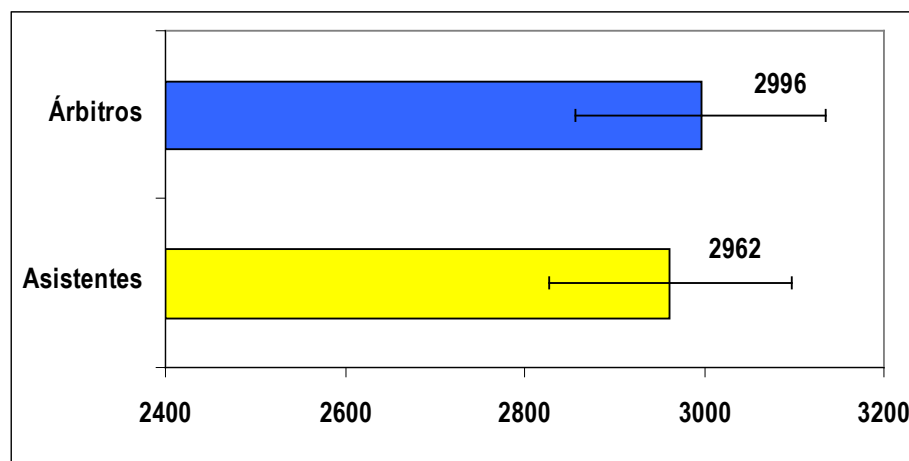


Figura 3.40 Distancia recorrida en la prueba de carrera de 12 min por los árbitros y árbitros asistentes.

La prueba de los 200 m sólo formaba parte de las pruebas de valoración de la condición física de los árbitros. En esta prueba los árbitros emplearon un tiempo medio en recorrer la distancia de $28,5 \pm 1,7$ (25,9-31,1) s.

El tiempo medio empleado por los árbitros en recorrer la distancia de 50 m fue de $6,98 \pm 0,32$ (6,5-7,5) s mientras que para los árbitros asistentes fue de $6,89 \pm 0,35$ (6,4-7,5) s (Figura 3.40).

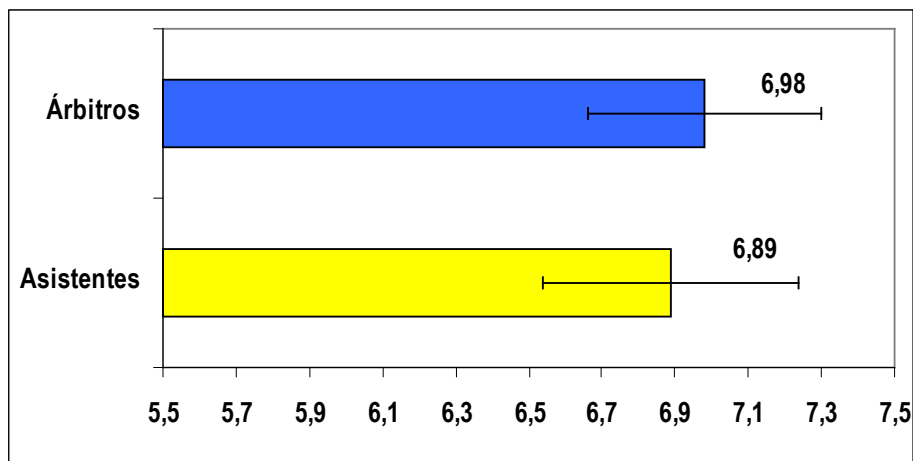


Figura 3.40 Tiempo medio empleado por los árbitros y árbitros asistentes en la prueba de carrera de 50 m.

3.2 Relaciones entre las variables

3.2.1 Distancia total recorrida

3.2.1.1 Árbitros

La distancia total recorrida por los árbitros durante los encuentros mostraba una correlación positiva y significativa ($r=0,77$; $p<0.01$) con el tiempo real de juego de cada partido (Figura 3.41).

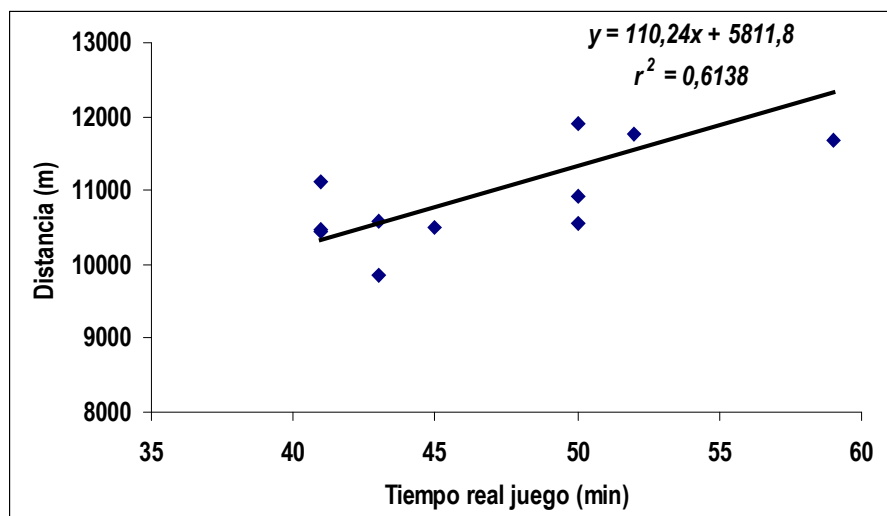


Figura 3.41 Relación entre el tiempo real de juego y la distancia total recorrida por los árbitros durante los partidos.

La distancia recorrida por los árbitros durante los partidos fue objeto de un estudio estadístico para analizar su distribución a lo largo del tiempo de juego. Con el

propósito de comparar la distancia recorrida en intervalos de 15 min durante el primer y segundo tiempo se planteó un diseño que consistía en la realización de un análisis de la varianza con medidas repetidas utilizando 3 intervalos de tiempo de 15 min y 2 períodos de juego (ANOVA 3x2) y realizando las medidas repetidas sobre ambos factores.

La aplicación de la prueba de esfericidad de Mauchly sobre los datos del factor intervalo de tiempo no permitió rechazar la hipótesis nula de esfericidad ($p > 0.05$), por lo que se realizó un ajuste de los grados de libertad a partir del valor de ϵ de 0,719 según la corrección de Greenhouse-Geisser. Este ajuste permitió determinar un efecto significativo de este factor ($F_{1,16}=5,17$; $p < 0.05$) siendo la potencia observada de 0,66. La varianza asociada a esta medida fue del 25,48% de la total. La distancia recorrida entre los minutos 0-15 de cada período de juego fue superior ($p < 0.05$) a la recorrida entre los minutos 16-30 (con un tamaño del efecto de 0,44) y 31-45 (tamaño del efecto: 0,41).

El factor período de juego también mostró un efecto significativo ($F_{1,11}=14,18$; $p < 0.01$), con una potencia observada de 0,93 y un valor de ω^2 de 0,40. La distancia recorrida en el primer tiempo de los encuentros fue superior ($p < 0.01$) a la del segundo período de juego siendo la magnitud de este efecto de 0,69.

Al considerar ambos factores de manera conjunta las condiciones de esfericidad de los datos no se cumplían ($p > 0.05$) de manera que fue necesario aplicar la corrección de Greenhouse-Geisser ($\epsilon=0,967$). Con este ajuste de los grados de libertad no se observó una interacción significativa entre el intervalo de juego y el período ($F_{2,21}=0,61$; $p > 0.05$).

La Figura 3.42 representa gráficamente la interacción entre estos dos factores. A lo largo de ambos períodos de juego los árbitros veían disminuida la distancia recorrida desde el cuarto de hora inicial conforme transcurría el partido salvo un pequeño repunte en el tramo final de cada período. Esta distancia recorrida en los primeros 15 min era superior ($p<0.05$) a la de los 15 min que sucedían al descanso con una magnitud del efecto de 0,84. Profundizando en la distribución de los datos aplicando las correcciones de Bonferroni para la comparación dos a dos de las medias, se pudo comprobar como la distancia recorrida durante el cuarto de hora inicial del partido era superior a la recorrida en los intervalos de minutos 61-75 ($p<0.01$) y 76-90 ($p<0.05$) con un tamaño de los efectos de 1,01 y 1,19, respectivamente.

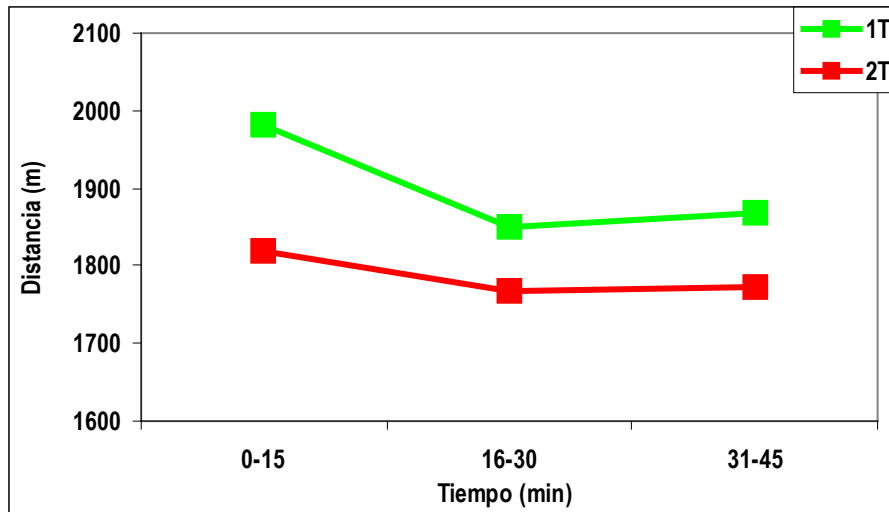


Figura 3.42 Comparación de la distancia por los árbitros en intervalos de 15 min durante el primer y segundo tiempo de los partidos.

Para analizar la distancia recorrida por los árbitros en intervalos de 5 min a lo largo de todo el partido, se estableció un diseño similar al anterior aunque aumentando el

número de intervalos de juego sobre los que se realizaron las medidas repetidas (ANOVA 9x2 con medidas repetidas sobre ambos factores).

Los datos agrupados dentro del factor intervalo cumplían con las condiciones de esfericidad ($p < 0.001$) encontrándose un efecto significativo en el comportamiento de dicho factor ($F_{8,88}=2,40$; $p < 0.05$). La potencia observada para esta medida fue de 0,87 y el valor de ω^2 de 0,28. La distancia recorrida fue superior entre los minutos 6-10 que entre los minutos 26-30 ($p < 0.05$) y la magnitud de este efecto fue de 0,69.

Tal y como se indicó con los datos del caso anterior el factor período mostró un efecto significativo ($F_{1,11}=14,410$; $p < 0.01$) siendo la distancia recorrida por los árbitros mayor en el primer tiempo que en el segundo. En este caso la potencia observada fue de 0,93 y la medida supuso el 33,80% de la varianza total.

Al combinar ambos factores no se pudo rechazar la hipótesis nula de esfericidad ($p > 0.05$) por lo que fue necesario ajustar los grados de libertad aplicando un valor de ϵ de 0,65. La interacción intervalo x período no fue significativa ($F_{5,57}=1,39$; $p > 0.05$), puesto que la distancia recorrida mostraba un ligero descenso conforme avanzaba el partido con un repunte en los últimos 5 min del encuentro (Figura 3.43).

La comparación de los mismos intervalos de juego en distintos periodos permitió observar como la distancia recorrida era superior ($p < 0.05$) entre los minutos 6-10, 21-25 y 36-40 que entre los minutos 51-55 (tamaño del efecto: 0,90), 66-70 (0,67) y 81-85 (0,97), respectivamente.

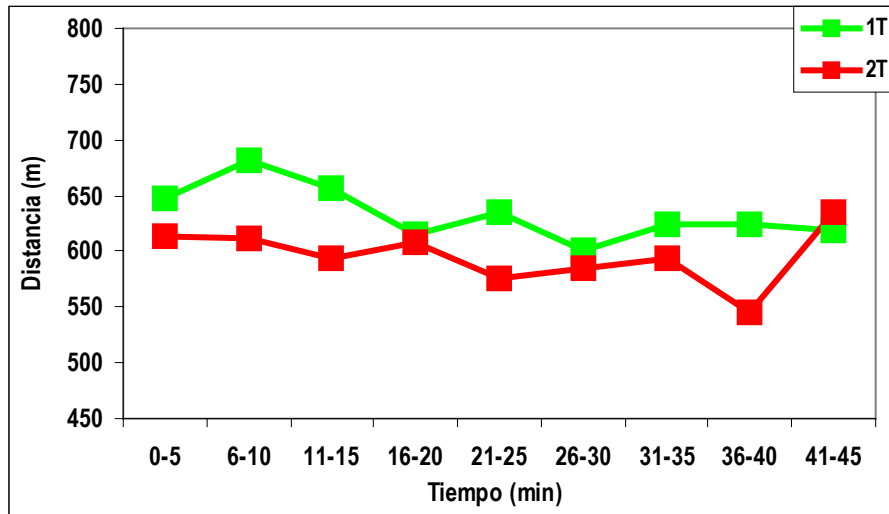


Figura 3.43 Comparación de la distancia recorrida por los árbitros en intervalos de 5 min durante el primer y segundo tiempo de los partidos.

3.2.1.2 Árbitros asistentes

Al contrario de lo que sucedía con los árbitros la distancia total recorrida por los árbitros asistentes durante los encuentros no mostraban una relación significativa con el tiempo real de juego ($r=0,36$; $p>0.05$).

Los dos árbitros asistentes que participan durante un encuentro deben establecer una relación de colaboración con el árbitro principal del mismo. La suma de la distancia total recorrida por los dos árbitros asistentes de un mismo partido fue superior ($p<0.001$) a la recorrida por el árbitro que participaba en dicho encuentro (Figura 3.44).

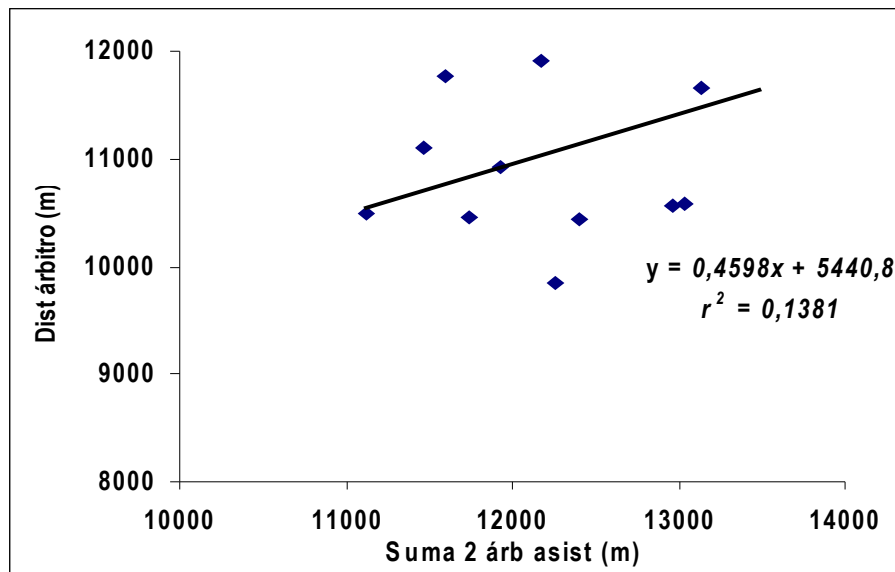


Figura 3.44 Relación entre la suma de la distancia recorrida por los dos árbitros asistentes y el árbitro que participó en el mismo partido.

Aunque se encontró una relación positiva entre la distancia recorrida por ambos árbitros asistentes en el mismo partido ($r=0,38$) esta relación no fue significativa ($p>0.05$) por lo cual resulta complejo expresar de forma cinemática –en función de la distancia total recorrida- la relación de colaboración entre el árbitro principal y los árbitros asistentes.

Para profundizar en la distribución de la distancia recorrida a lo largo del tiempo de juego se planteó un diseño estadístico idéntico al empleado con los árbitros. De este modo se realizó un análisis de la varianza con medidas repetidas utilizando 3 intervalos de tiempo de 15 min y los 2 períodos de juego (ANOVA 3x2) realizando las medidas repetidas sobre ambos factores.

El factor intervalo no permitió rechazar la hipótesis nula de esfericidad ($p>0.05$) por lo que fue necesario aplicar la corrección de Greenhouse-Geisser ajustando los grados de libertad para un valor de épsilon de 0,93. Tras realizar este ajuste el

factor intervalo mostró un efecto significativo ($F_{2,43}=10,06$; $p<0.001$) para una potencia observada de 0,97 y un 34,57% de la varianza total. La distancia recorrida en los primeros 15 min de cada período fue superior a la recorrida entre los minutos 16 y 30 ($p<0.001$) con un tamaño del efecto de 0,64 y también mayor que la recorrida en el último cuarto de hora de cada tiempo ($p<0.05$) siendo la dimensión de este efecto de 0,48.

En relación a la comparación de la distancia recorrida entre períodos de juego se observó un efecto significativo ($F_{1,23}=13,10$; $p<0.01$) con una mayor distancia recorrida en el primer tiempo en relación al segundo y representando este efecto una magnitud de 0,70. La potencia observada para esta medida fue de 0,93 y la varianza supuso el 23,09% de la total.

La interacción de ambos factores no permitió rechazar la hipótesis de esfericidad ($p<0.05$) por lo que se requirió realizar un ajuste de los grados de libertad ($\epsilon=0,90$) aunque la interacción no fue significativa ($F_{2,41}=0,10$; $p>0.05$). Los árbitros asistentes recorrían la mayor distancia durante los 15 min iniciales de cada período para luego disminuir los valores en la parte central del período y lograr un pequeño repunte en el cuarto de hora final (Figura 3.45).

Al comparar los valores entre períodos la distancia recorrida en el cuarto de hora inicial del partido fue superior ($p<0.05$) a la recorrida en los 15 min que sucedieron al descanso con un tamaño del efecto de 0,60. Utilizando el método de Bonferroni para la comparación de las distancias medias en intervalos de 15 min se pudo determinar como la distancia recorrida durante los primeros 15 min del partido era superior a la recorrida durante los minutos 61-75 ($p<0.01$; tamaño del efecto: 1,15) y 76-90 ($p<0.05$; 0,97).

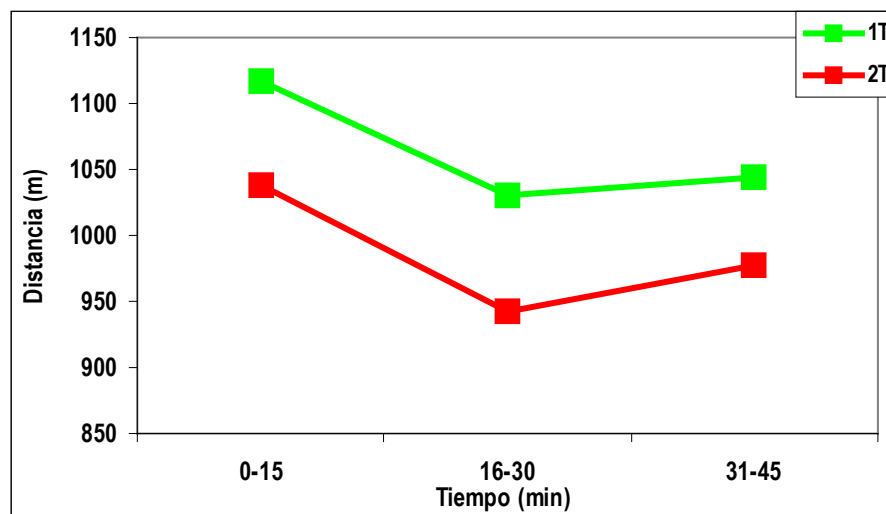


Figura 3.45 Comparación de la distancia por los árbitros asistentes en intervalos de 15 min durante el primer y segundo tiempo de los partidos.

Para profundizar en la distribución de la distancia recorrida por los árbitros asistentes se realizó un diseño de medidas repetidas sobre los factores intervalo de 5 min y período de juego (ANOVA 9x2) con medidas repetidas sobre ambos factores.

El factor intervalo de tiempo no cumplía con las condiciones de esfericidad ($p > 0.05$) por lo que fue necesario ajustar los grados de libertad de la medida utilizando el valor de ϵ de 0,74. Tras realizar este ajuste se observó un efecto significativo del factor intervalo ($F_{6,136}=3,71$; $p < 0.01$). La potencia observada para este factor fue de 0,95 y la varianza del 34,41% de la total. La distancia recorrida entre los minutos 6 y 10 de cada período de juego fue superior ($p < 0.05$) a la recorrida entre los intervalos de minutos 21-25 (tamaño del efecto: 0,58) y 36-40 (0,68) y también mayor ($p < 0.01$) que la recorrida en el intervalo de minutos 26-30 (0,67).

El factor período de juego ratificó los datos anteriormente expuestos de manera que mostró un efecto significativo ($F_{1,23}=11,53$; $p < 0.01$) con un descenso de la distancia

recorrida en los segundos 45 min. La potencia observada para esta medida fue de 0,90 y el valor de ω^2 de 0,17.

Los datos correspondientes a la interacción de los dos factores anteriores (intervalo x periodo) no permitieron rechazar la hipótesis nula de esfericidad ($p > 0.05$) por lo que fue necesario aplicar la corrección de Greenhouse-Geisser utilizando un valor de ϵ de 0,66. Tras este ajuste de los grados de libertad la interacción no fue significativa ($F_{5,122}=1,85$; $p > 0.05$). La Figura 3.46 ilustra la distancia recorrida por los árbitros asistentes a lo largo del partido observándose un comportamiento alternativo durante ambos períodos de juego. Tras alcanzar los máximos valores en la parte inicial de cada período experimentó un descenso no lineal durante los siguientes intervalos. En los 5 últimos min del partido la distancia recorrida mostraba un crecimiento en relación a los valores anteriores.

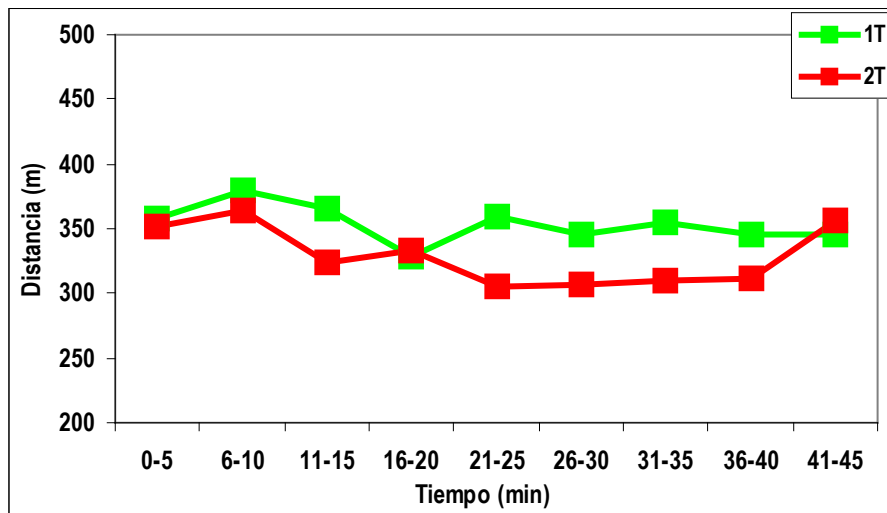


Figura 3.46 Comparación de la distancia recorrida por los árbitros asistentes en intervalos de 5 min durante el primer y segundo tiempo de los partidos.

La comparación de los mismos intervalos de tiempo del primer y segundo período de juego permitió observar como la distancia recorrida era superior ($p<0.05$) entre los minutos 11-15, 21-25, 26-30, 31-35 y 36-40 que entre los intervalos de minutos 56-60, 66-70, 71-75, 76-80 y 81-85. Estas diferencias supusieron un tamaño del efecto de 0,68, 0,81, 0,54, 0,66 y 0,56, respectivamente.

3.2.1.3 Árbitros vs. árbitros asistentes

Para caracterizar a cada grupo de deportistas, es decir, para expresar de una manera gráfica la especialización funcional que requiere cada rol dentro del arbitraje: árbitro principal o árbitro asistente se establecieron comparaciones entre las distintas variables dependientes analizadas en los dos grupos de jueces. Para ello se utilizó un diseño basado en un análisis de la varianza con dos factores (grupo de jueces y período de juego) realizándose las medidas repetidas sobre este último factor. De este modo se intentó analizar la posible existencia de dos efectos principales y otro debido a la interacción: grupo de árbitros y período de juego.

El estudio de los efectos inter-sujetos se realizó mediante el análisis del factor grupo de jueces siendo la diferencia significativa ($F_{1,34}=404,36$; $p<0.001$). Al tener la comparación únicamente dos niveles se pudo concluir que la distancia recorrida por los árbitros era mayor ($p<0.001$) que la recorrida por los árbitros asistentes siendo el tamaño del efecto de 6,19. La potencia observada para esta media fue del 1 y el 87,02% de la varianza total se debió a este factor.

El factor período también mostró un efecto significativo ($F_{1,34}=25,04$; $p<0.001$) con una mayor distancia recorrida en los primeros tiempos de los encuentros en

relación a los segundos 45 min. La potencia estadística de esta medida fue de 1 con una varianza asociada a este factor del 5,19% y un tamaño del efecto de 0,21.

La interacción entre los dos factores (grupo x período) no alcanzó valores significativos ($F_{1,34}=1,12$; $p>0.05$). Tanto los árbitros como los árbitros asistentes veían disminuido su rendimiento en los segundos tiempos de los partidos (Figura 3.47). La distancia recorrida por los árbitros fue mayor que la recorrida por los árbitros asistentes tanto en el primer tiempo como en el segundo ($p<0.001$).

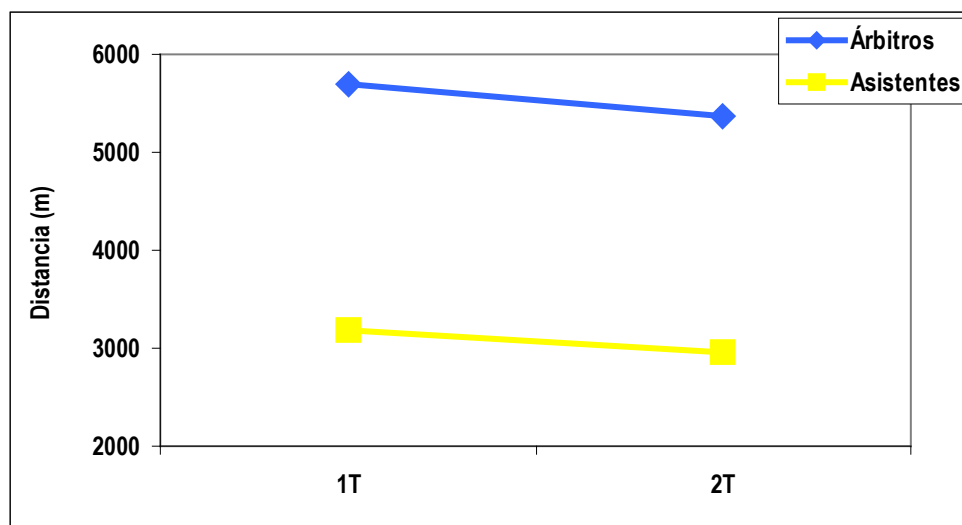


Figura 3.47 Comparación de la distancia recorrida por los árbitros y árbitros asistentes durante los dos períodos de juego.

Siguiendo un diseño similar se comparó la distancia recorrida por los dos grupos de jueces al dividir el partido en 6 intervalos de 15 min realizando una ANOVA (2x6) con medidas repetidas sobre el factor intervalo de tiempo.

El factor inter-sujetos (grupo de jueces) reveló un efecto significativo ($F_{1,34}=386,98$; $p<0.001$) con un tamaño del efecto de 4,97 y una varianza del 82,54% de la total. La potencia de este factor fue de 1.

La realización de la prueba de esfericidad de Mauchly sobre el factor intervalo de tiempo determinó un valor de W de 0,49 ($p>0.05$), por lo que se optó por aplicar el corrector de Greenhouse-Geisser ($\epsilon=0,83$) para ajustar los grados de libertad mostrando el factor intervalo de tiempo un efecto significativo ($F_{4,140}=11,06$; $p<0.001$). La potencia observada para esta medida fue de 1 mientras que la varianza representaba el 10,49% de la total.

Aplicando la corrección de Bonferroni para la comparación entre las medias de los intervalos se pudo comprobar como la distancia recorrida en los primeros 15 min del partido era superior a la recorrida en el resto de fracciones de 15 min en las que se dividía el partido. Se observó que en la parte inicial del encuentro la distancia fue superior a la recorrida entre los minutos 16-30 y 31-45 ($p<0.05$), 46-60 ($p<0.01$) y 61-75 y 76-90 ($p<0.001$).

La Figura 3.48 representa la interacción entre los factores grupo de jueces e intervalos de tiempo que no presentó un nivel significativo ($F_{4,140}=0,49$; $p>0.05$). Tanto los árbitros como los árbitros asistentes experimentaban una reducción prácticamente lineal de la distancia recorrida a lo largo de los sucesivos períodos de 15 min en los que se dividía el partido. Para todos los intervalos de tiempo comparados la distancia recorrida por los árbitros era superior ($p<0.001$) a la de los árbitros asistentes.

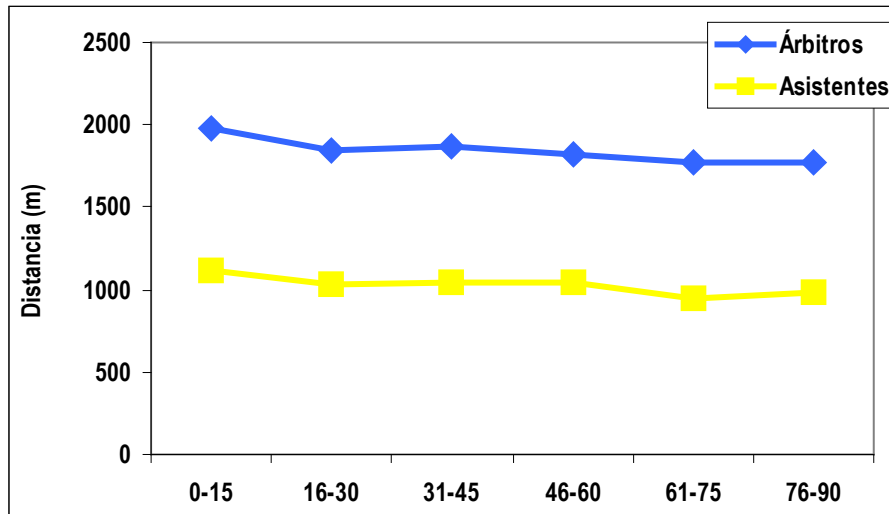


Figura 3.48 Comparación de la distancia recorrida por los árbitros y árbitros asistentes en intervalos de 15 min a lo largo de los partidos.

3.2.2 Clasificación de los desplazamientos en función de la intensidad de los mismos

3.2.2.1 Árbitros

Los desplazamientos realizados por los jueces durante los partidos fueron clasificados en 5 categorías (estar parado, andar, trotar, correr y sprintar) atendiendo a la velocidad instantánea de los mismos.

Para analizar la influencia del tiempo de juego sobre el compartimiento motriz de los árbitros se realizó un análisis de la varianza con medidas repetidas, utilizando para ello las 5 categorías de esfuerzo y los 2 períodos de juego (ANOVA 5x2), realizándose las medidas repetidas sobre ambos factores.

El factor categoría de esfuerzo no permitió rechazar la hipótesis nula en cuanto a la esfericidad de los datos (W de Mauchly=0,17; $p>0.05$) por lo que se empleó el valor de ϵ de Greenhouse-Geisser de 0,69 para ajustar los grados de libertad. La distancia recorrida en cada una de las categorías mostró un efecto significativo ($F_{3,30}=90,31$; $p<0.001$). La distancia recorrida trotando fue superior a la de las categorías de “correr” ($p<0.01$) y de “estar parado”, “andar” y “sprintar” ($p<0.001$). Del mismo modo, mediante desplazamientos en la categoría “correr” se conseguía una distancia superior a la recorrida andando ($p<0.01$) o con movimientos a velocidades inferiores a 1 m/s o superiores a 5 m/s ($p<0.001$); mientras que la distancia recorrida andando era mayor ($p<0.001$) que la recorrida en la categoría de “estar parado” y “sprintar”; y sprintando se recorría más distancia ($p<0.05$) que en la categoría de “estar parado”. La potencia observada para este factor calculada con un nivel de alfa de 0.05 fue de 1 mientras que la varianza representaba un 87,88% de la total.

El período de juego tuvo un efecto sobre el compartimiento motriz de los árbitros ($F_{1,11}=14,48$; $p<0.01$) disminuyendo la distancia recorrida en el segundo tiempo en relación al primero siendo el tamaño de este efecto de 0,69. La potencia de este factor fue de 0,93 y la varianza asociada al mismo era de un 3,32% de la total.

La interacción entre los dos factores permitió rechazar la hipótesis nula de esfericidad (W de Mauchly=0,16; $p<0.05$) hallándose una interacción significativa entre ambas variables ($F_{4,44}=6,94$; $p<0.001$) y una potencia de 0,91. La Figura 3.49 representa de una manera gráfica la interacción entre los factores de manera que durante los primeros tiempos de los partidos los árbitros recorrían una menor distancia a velocidades bajas mientras que tras el descanso disminuía la distancia recorrida en las categorías de “correr” y “sprintar” denotando un aminoramiento del

ritmo de juego. La varianza asociada a este factor representaba un 5,85% de la total.

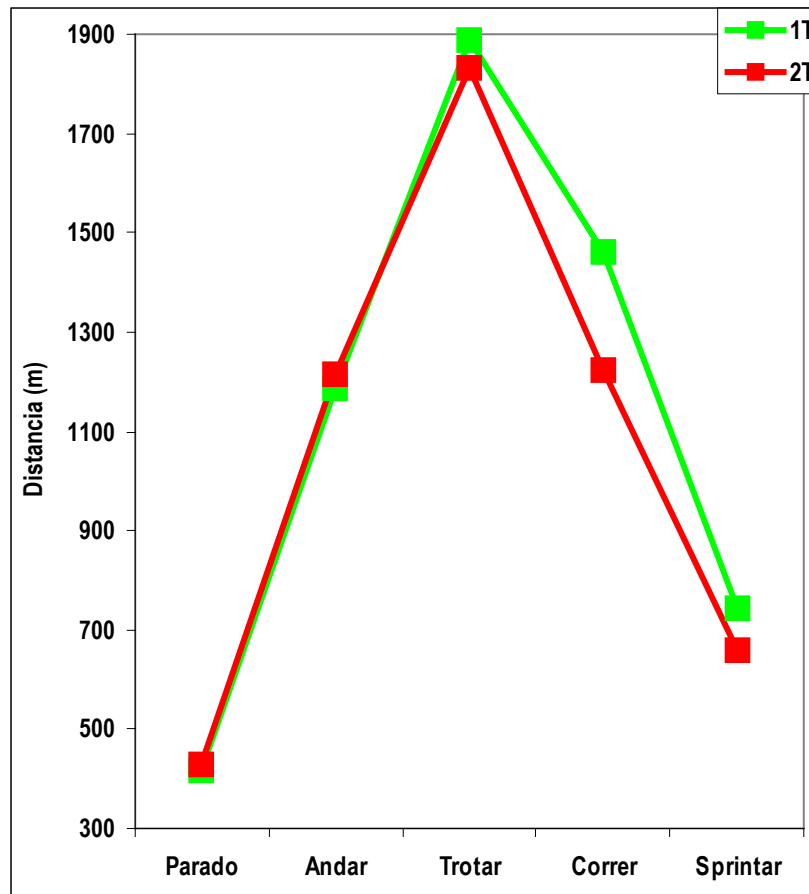


Figura 3.49 Comparación de la distancia recorrida por árbitros en distintos tipos de movimiento entre el primer y segundo tiempo.

La disminución de la distancia corriendo en los segundos 45 min se cifró en un 16,45%: 1462 ± 309 m frente a 1222 ± 235 m ($p < 0.05$) siendo el tamaño de este efecto de 0,87. De igual modo los árbitros también recorrían más de un 11,66% de distancia ($p < 0.05$) en la categoría de “sprintar” (746 ± 245 m frente a 659 ± 218 m) en la primera mitad de los encuentros teniendo este efecto un tamaño de 0,38.

Para estudiar el rendimiento del árbitro en relación al tiempo total de juego se realizó también un análisis de la varianza de medidas repetidas considerando el porcentaje de tiempo en las 5 categorías de esfuerzo y los 2 períodos de juego (ANOVA 5x2) con medidas repetidas sobre los dos factores.

El factor categorías de esfuerzo permitió rechazar la hipótesis nula de esfericidad ($p<0.05$) al aplicar la prueba de Mauchly y determinar un efecto significativo del mismo ($F_{4,44}=99,12$; $p<0.001$) con una potencia del estadístico de 1. El porcentaje de tiempo empleado en los esfuerzos a la máxima intensidad fue inferior ($p<0.001$) al de las otras cuatro categorías salvo la de “correr” ($p<0.01$). Del mismo modo el porcentaje de tiempo empleado en la categoría “correr” también fue inferior al de las categorías de “estar parado” ($p<0.01$) y “andar” y “trotar” ($p<0.01$). La varianza asociada a este factor representó un 92,08% de la varianza total.

En relación a los períodos de juego al haberse empleado el mismo tiempo en ambos para llevar a cabo las comparaciones (45 min) no existieron diferencias significativas ($F_{1,11}=0,33$; $p>0.05$).

Al aplicar la prueba de esfericidad de Mauchly sobre la interacción categorías x período de juego se pudo rechazar la hipótesis nula ($p<0.05$) y determinar un interacción significativa ($F_{4,44}=6,61$; $p<0.01$), con una potencia observada de 0,99 y una varianza del 5,26% sobre la total. Corroborando las apreciaciones sobre la distribución de la distancia recorrida en categorías a lo largo del partido expuestas con anterioridad en la Figura 3.50 se puede observar como los árbitros variaban su respuesta cinemática en el transcurso de los partidos disminuyendo tras el descanso el tiempo empleado a intensidades elevadas (corriendo y sprintando) y aumentando la dedicación a actividades de baja intensidad (estar parado y correr).

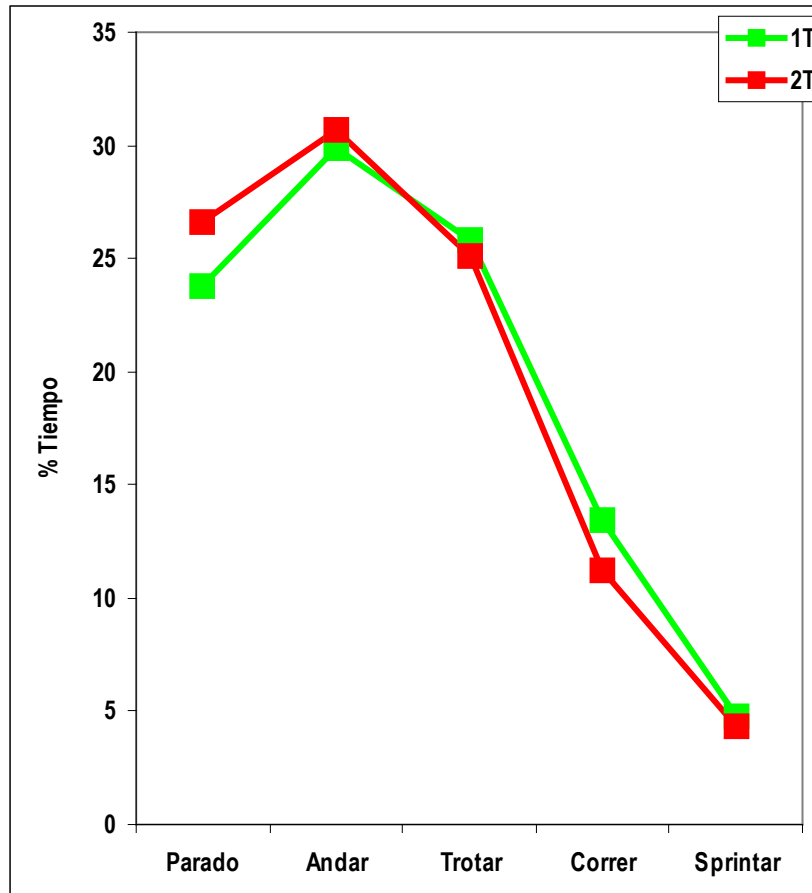


Figura 3.50 Comparación del porcentaje de tiempo empleado por árbitros en distintos tipos de movimiento entre el primer y segundo tiempo.

Profundizando en estas diferencias entre los períodos de juego se puede observar como el porcentaje de tiempo que el árbitro estuvo parado aumentó ($p < 0.05$) del primer al segundo tiempo pasando del $23,49 \pm 5,95\%$ al $26,64 \pm 6,77\%$ siendo el tamaño de este efecto del 0,49. Por el contrario el porcentaje de tiempo en la categoría “correr” disminuyó ($p < 0.01$) del primer al segundo tiempo (se pasó del $13,36 \pm 2,97\%$ al $11,19 \pm 2,06\%$) con una magnitud del efecto de 0,85 y también lo hizo ($p < 0.01$) el porcentaje de tiempo empleado en la categoría “sprintar”, pasando del $4,81 \pm 1,46\%$ al $4,29 \pm 1,32\%$ (tamaño del efecto: 0,37).

Para el análisis del sentido de los desplazamientos en función del tiempo se realizó un análisis de la varianza utilizando los 2 posibles sentidos del movimiento (de frente y de espalda) y los 2 períodos de juego realizando las medidas repetidas sobre ambos factores.

El factor categoría de desplazamiento mostró un efecto significativo ($F_{1,11}=1174,99$; $p<0.001$), con una potencia observada de 1 y un valor de ω^2 de 0,98. La distancia recorrida en forma de desplazamientos de frente fue superior a la recorrida en forma de movimientos de espalda siendo el tamaño del efecto de 58,25.

En relación al período de juego, tal y como se describió con anterioridad, la distancia recorrida fue mayor en el primer tiempo que en el segundo observándose un efecto significativo de este factor ($F_{1,11}=14,97$; $p<0.001$). La potencia estadística fue de 0,94 y la varianza del 1,16% de la total.

No se observó ninguna interacción entre los dos factores ($F_{1,11} = 0$; $p>0.05$) puesto que la distancia disminuyó en los dos sentidos del movimiento (Figura 3.51). La distancia recorrida en forma de desplazamientos de espalda disminuyó ($p<0.001$) en los segundos tiempos de los partidos siendo el tamaño de este efecto de 1,70.

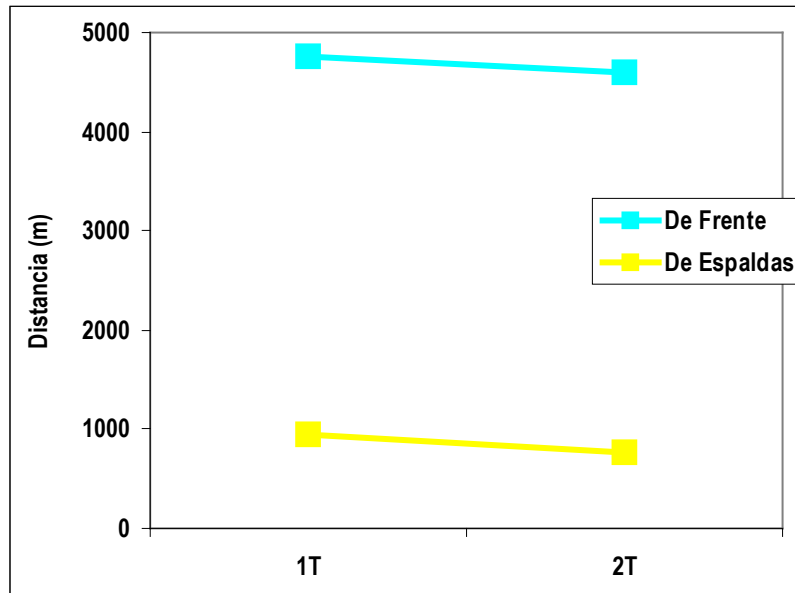


Figura 3.51 Comparación de la distancia recorrida de frente y de espalda por los árbitros durante los 2 períodos de juego.

3.2.2.2 Árbitros asistentes

Tras la realización de un análisis de la varianza con medidas repetidas sobre dos factores, las 5 categorías de esfuerzo y los 2 períodos de juego, se profundizó en el conocimiento de los desplazamientos de los árbitros asistentes a lo largo del encuentro.

La aplicación de la prueba de esfericidad de Mauchly permitió rechazar la hipótesis nula de esfericidad sobre los datos del factor categoría ($p < 0.001$) encontrándose un efecto significativo de este factor ($F_{4,92}=307,04$; $p < 0.001$) con una potencia observada de 1 y una varianza que representaba el 96,68% de la total. La distancia recorrida en la categoría “sprintar” fue inferior ($p < 0.001$) a la de las otras 4 categorías mientras que la distancia recorrida en la categoría “correr” fue también inferior ($p < 0.001$) a de las otras 3 categorías (estar parado, andar y trotar). Tanto

los desplazamientos andando como trotando superaron ($p<0.001$) la cantidad de metros recorridos a velocidades inferiores a 1 m/s.

El factor período de juego también reveló un efecto significativo ($F_{1,23}=13,25$; $p<0.01$) con una potencia del estadístico de 0,94 y una varianza del 0,97% de la total. La distancia recorrida por los árbitros asistentes fue superior en los primeros 45 min de los partidos con una magnitud del efecto de 0,70.

La combinación de las dos variables dio lugar al rechazo de la hipótesis nula de esfericidad ($p<0.01$) obteniéndose finalmente una interacción no significativa entre las mismas ($F_{4,92}=2,45$; $p>0.05$) con una potencia observada de 0,68.

En la Figura 3.52 se representa gráficamente la interacción de los dos factores pudiéndose observar como los árbitros asistentes recorrían menos metros en los segundos tiempos de los partidos, acentuándose estas diferencias en las categorías de “trotar” y “correr”.

La distancia recorrida en la categoría “trotar” disminuyó ($p<0.01$) del primer al segundo período de los partidos pasando de 1003 ± 158 m a 900 ± 175 m siendo el tamaño del efecto de 0,62. También disminuyó ($p<0.05$) la distancia recorrida en la categoría “correr” entre períodos, con una magnitud más moderada del efecto de 0,53 al pasar de 443 ± 133 m a 375 ± 122 m.

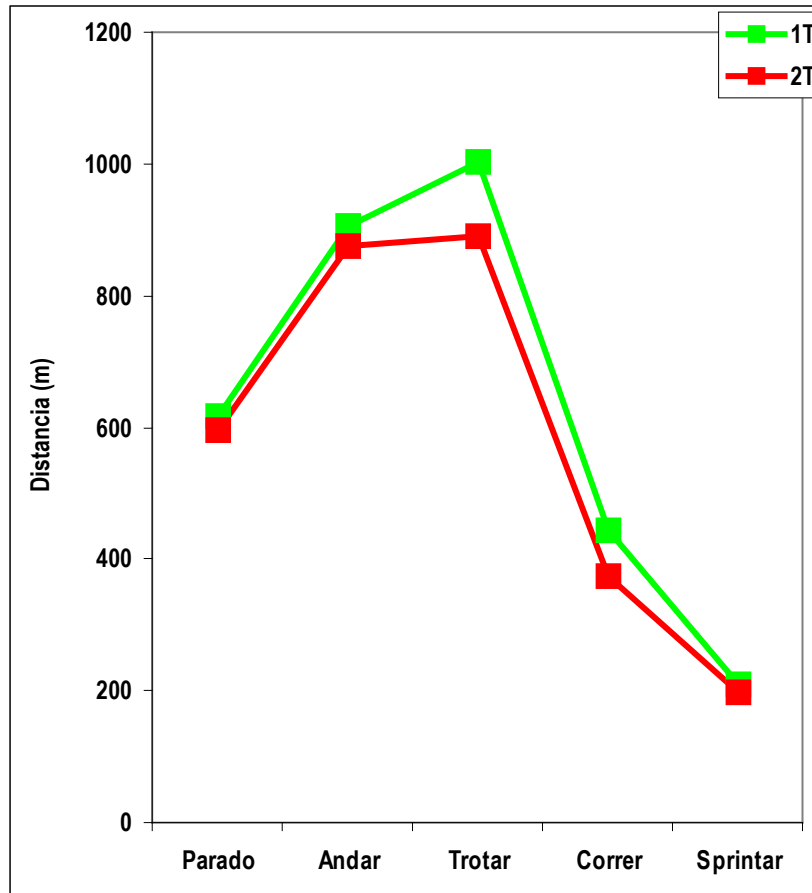


Figura 3.52 Comparación de la distancia recorrida por árbitros asistentes en distintos tipos de movimiento entre el primer y segundo tiempo.

En relación a la clasificación de los desplazamientos en función del tiempo empleado en los mismos la realización de un análisis de la varianza con medidas repetidas sobre los dos factores (5 categorías por 2 períodos de juego) deparó dos efectos principales y una interacción.

El factor categoría cumplió con los requisitos de la prueba de esfericidad de Mauchly ($p < 0.001$) y tuvo un efecto significativo ($F_{4,92} = 2279,13$; $p < 0.001$) con una potencia observada de 1 y una varianza que suponía el 99,48% de la total. El tiempo empleado por los árbitros asistentes estando parado fue superior ($p < 0.001$) al empleado en las 4 categorías restantes. De igual modo, el tiempo empleado

andando superó ($p<0.001$) al tiempo empleado en forma de desplazamientos trotando, corriendo y sprintando. A su vez, el tiempo en el que el árbitro asistente estuvo en movimientos que forman la categoría “trotar” fue mayor ($p<0.001$) que en las categorías de “correr” y “sprintar” y finalmente, corriendo los árbitros asistentes emplearon mayor tiempo ($p<0.001$) que sprintando.

Debido a la idéntica duración de los dos períodos de juego el factor tiempo no tuvo un efecto significativo ($F_{1,23}=0,96$; $p>0.05$) siendo la potencia del estadístico de 0,16.

La prueba de esfericidad de Mauchly permitió rechazar la hipótesis nula de esfericidad de los datos de manera que la interacción categorías x período alcanzó niveles significativos ($F_{4,92}=7,03$; $p<0.001$) con una potencia observada de 0,99 y un 0,26% de la varianza total.

A partir de la Figura 3.53 se puede observar como la intensidad relativa de los esfuerzos realizados por los árbitros asistentes variaba en el transcurso de los partidos de manera que el tiempo empleado en acciones a una media (trotar) y alta intensidad (correr) era superior durante las primeras partes de los encuentros. En los segundos 45 min aumentaba el tiempo en el que los jueces permanecían parados.

En datos estadísticos, el aumento del tiempo empleado estando parados por los árbitros asistentes en los segundos períodos era significativo ($p<0.01$) al pasar del $55,49 \pm 3,5\%$ al $58,33 \pm 4,57\%$ lo que otorgaba una magnitud del efecto de 0,70. Por el contrario los porcentajes de tiempo en los jueces estuvieron trotando ($p<0.01$) y corriendo ($p<0.05$) disminuyeron en el segundo tiempo en relación al

primero. En el caso de la categoría “trotar” se pasó del $14,54 \pm 2,22\%$ al $13,11 \pm 2,53\%$ mientras que en la categoría “correr” la disminución fue del $4,15 \pm 1,25\%$ al $3,52 \pm 1,11\%$ siendo el tamaño del efecto de 0,60 y 0,53, respectivamente.

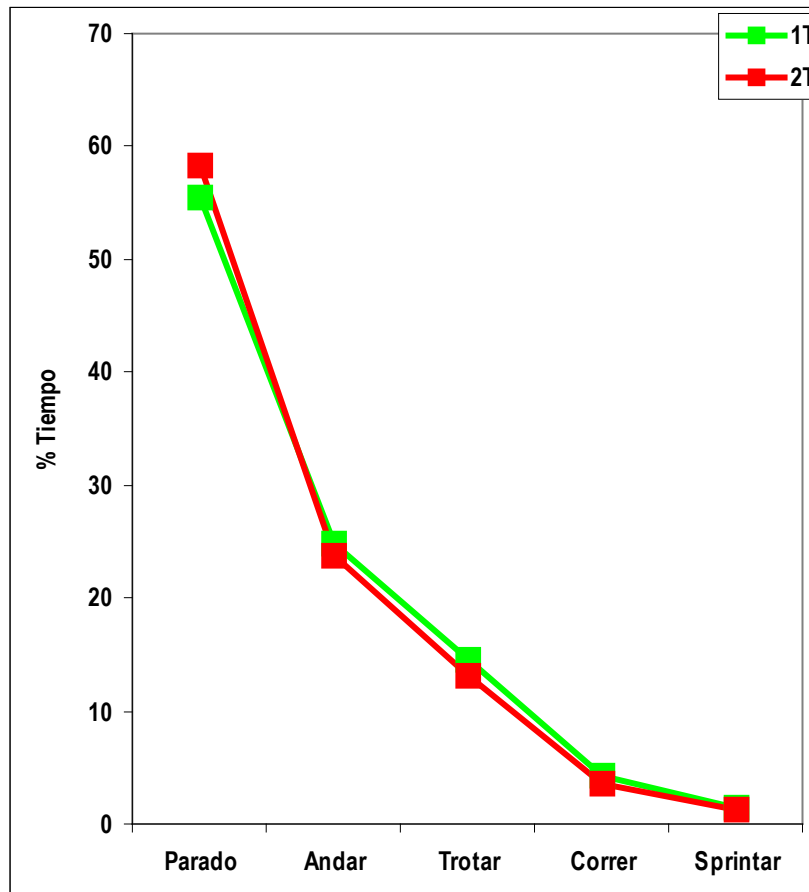


Figura 3.53 Comparación del tiempo empleado por árbitros en distintos tipos de movimiento entre el primer y segundo tiempo.

Los desplazamientos de los árbitros asistentes se clasificaron en 2 categorías (de frente y lateral) en función del sentido de los mismos. Para la comparación entre períodos se realizó un análisis de la varianza de medidas repetidas utilizando las 2 categorías de desplazamiento y los 2 períodos de juego realizando las medidas repetidas sobre ambos factores.

El factor categoría de desplazamiento reveló un efecto significativo ($F_{1,23}=584,91$; $p<0.001$) con una potencia observada de 1 y una varianza que suponía el 94,48% de la total. La distancia recorrida por los árbitros asistentes en movimientos de frente era superior a la recorrida en forma de desplazamientos laterales con una magnitud del efecto de 0,70.

También se observó un efecto significativo del factor período ($F_{1,23}=8,41$; $p<0.01$), puesto que la distancia total recorrida era mayor en el primer tiempo que en el segundo. La potencia observada fue de 0,79 y el valor de ω^2 de 0,01.

La Figura 3.54 representa la interacción no significativa entre los dos factores ($F_{1,23}=3,71$; $p>0.05$) aunque se puede observar la tendencia de los árbitros asistentes a disminuir los desplazamientos laterales durante los segundos períodos de los partidos mientras que mantenían los movimientos frontales. Este descenso en los desplazamientos laterales durante los segundos períodos de los encuentros fue significativo ($p<0.001$) con un tamaño del efecto de 1,46.

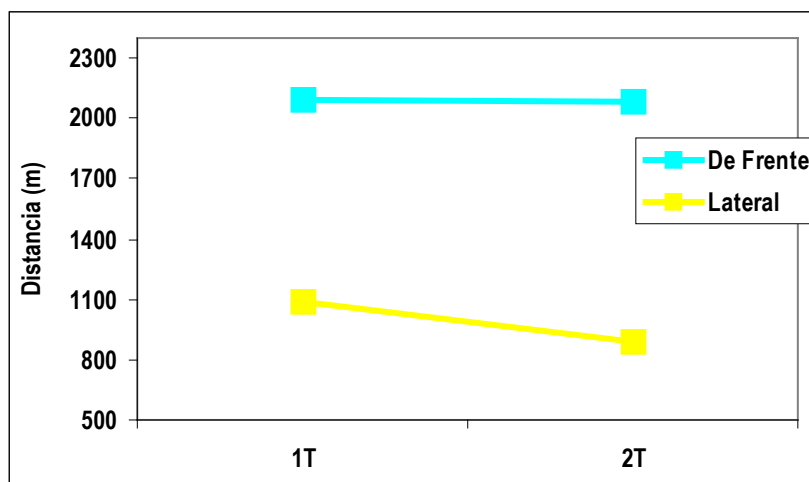


Figura 3.54 Comparación de la distancia recorrida de frente y lateral por los árbitros asistentes durante los 2 períodos de juego.

3.2.2.3 Árbitros vs. árbitros asistentes

Para describir con mayor precisión el perfil de exigencia de los árbitros y de los árbitros asistentes y, sobre todo, para establecer las diferencias en cuanto a la respuesta cinemática de cada uno de ellos, se realizó un análisis de la varianza utilizando los 2 grupos de jueces y las 5 categorías de esfuerzos y realizando medidas repetidas sobre este último factor.

En el análisis de los efectos inter-sujetos el factor grupo mostró un efecto significativo ($F_{1,34}=149,40$; $p<0.001$) con una potencia del estadístico de 1 y una varianza del 52,02% de la total. Corroborando los datos anteriormente expuestos los árbitros recorrieron más distancia que los árbitros asistentes durante los partidos.

Al aplicar la prueba de esfericidad de Mauchly sobre el factor categorías se pudo rechazar la hipótesis nula ($p<0.001$) y determinar un efecto significativo del mismo ($F_{4,136}=74,76$; $p<0.001$). La potencia observada para este factor fue de 1 y la varianza representaba el 26,17% de la total. Para el conjunto de jueces la distancia recorrida trotando era superior ($p<0.001$) a la del resto de categorías mientras que andando y corriendo la distancia recorrida era también mayor ($p<0.001$) que a velocidades por debajo de 1 m/s y por encima de 5 m/s.

La combinación de entre ambos factores dio como resultado una interacción significativa ($F_{4,136}=22,94$; $p<0.001$) con una potencia observada de 1 y un valor de ω^2 de 0,15. Tal y como muestra la Figura 3.55 la distancia recorrida por los árbitros era mayor en todas las categorías de movimientos salvo aquellos realizados a velocidades por debajo de 1 m/s.

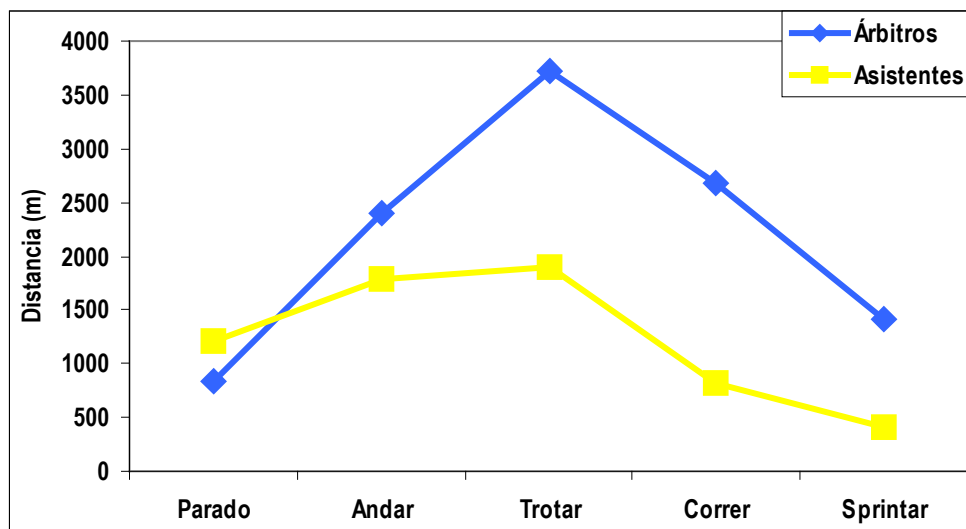


Figura 3.55 Comparación de la distancia recorrida en distintos tipos de movimiento por los árbitros y los árbitros asistentes durante los partidos.

De este modo mientras que los árbitros asistentes recorrían una mayor distancia a velocidades inferiores a 1 m/s ($p < 0.001$; tamaño del efecto: 4,24), eran los árbitros los que cubrían distancias superiores ($p < 0.001$) andando (4,05), trotando (4,41), corriendo (5,53) y sprintando (3,40).

En relación al tiempo de juego, tras realizar un diseño estadístico idéntico al del caso anterior no se pudo observar un efecto significativo del factor grupo ($F_{1,34}=3,169$; $p > 0.05$) puesto que los datos estaban expresados de forma porcentual.

El factor categorías permitió asumir las condiciones de esfericidad ($p < 0.001$) y se determinó un efecto significativo del mismo ($F_{4,136}=908,39$; $p < 0.001$). La potencia estadística alcanzó un valor de 1 y el valor de ω^2 fue de 0,74. El tiempo empleado por los jueces en la categoría “estar parado” fue superior ($p < 0.001$) al empleado en las otras tres categorías de desplazamientos al igual que fue mayor ($p < 0.001$) el tiempo andando que trotando, corriendo y sprintando y también mayor ($p < 0.001$) el

tiempo trotando que corriendo y sprintando. Por último, el tiempo en la categoría “correr” fue superior ($p<0.001$) al de la categoría “sprintar”.

También se observó un efecto significativo debido a la interacción de ambos factores ($F_{4,136}=306,95$; $p<0.001$) ya que los árbitros asistentes superaban a los árbitros en el tiempo empleado en esfuerzos con velocidades inferiores a 1 m/s mientras que eran los árbitros los que empleaban más tiempo en las acciones en las 4 categorías restantes (Figura 3.56).

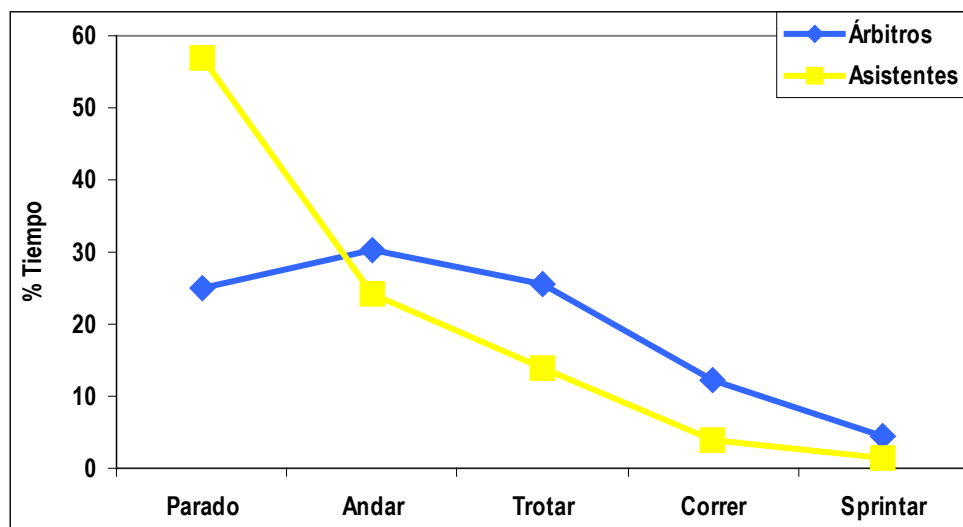


Figura 3.56 Comparación del tiempo empleado en distintos tipos de movimiento por los árbitros y los árbitros asistentes durante los partidos.

De esta manera mientras los árbitros asistentes permanecían un porcentaje superior de tiempo ($p<0.001$; tamaño del efecto 7,74) durante los partidos parados los árbitros empleaban más tiempo ($p<0.001$) en las categorías “andar” (3,12), “trotar” (4,05), “correr” (5,57) y “sprintar” (3,53). La potencia observada para este factor fue de 1 siendo la varianza del 25,02% sobre la total.

3.2.3 Características del ejercicio realizado a una alta intensidad

3.2.3.1 Árbitros

Al igual que sucedía con el estudio del comportamiento de la distancia recorrida durante los encuentros el análisis de la distribución del ejercicio de alta intensidad se realizó mediante un análisis de la varianza con medidas repetidas sobre dos factores (3 intervalos de 15 min y 2 períodos de juego) llevando a cabo las medidas repetidas en ambos factores.

La aplicación de la prueba de esfericidad de Mauchly sobre el factor intervalo no permitió rechazar la hipótesis nula de esfericidad ($p > 0.05$) por lo que fue necesario ajustar los grados de libertad de la medida mediante la corrección de Greenhouse-Geisser con un valor de ϵ de 0,87. El factor intervalo de tiempo mostró un efecto significativo ($F_{2,19}=4,22$; $p < 0.05$) con una potencia observada de 0,63 y una varianza del 14,21% de la total. Los esfuerzos realizados a una elevada intensidad en el primer cuarto hora de cada período fueron superiores ($p < 0.05$) a los realizados entre los minutos 16-30 siendo el tamaño del efecto de 0,40.

El factor período de juego también reveló un efecto significativo ($F_{1,11}=27,50$; $p < 0.01$) con una magnitud del efecto de 0,85 ya que el tiempo empleado en esta categoría de intensidad fue mayor en el primer período que en el segundo. La potencia observada para este factor fue de 1 y el valor de ω^2 de 0,58.

La interacción de los factores intervalo y período tampoco permitió rechazar la hipótesis nula de esfericidad ($p > 0.05$) siendo necesario aplicar un valor de ϵ de

0,97 según la corrección de Greehouse-Geisser. Tras realizar el ajuste de los grados de libertad, no se observó un efecto significativo en la interacción ($F_{2,21}=1,18$; $p>0.05$).

La Figura 3.57 muestra como el mayor tiempo realizando esfuerzos a una elevada intensidad por parte de los árbitros ocurría durante el cuarto inicial del partido, experimentando un descenso en los 15 min siguientes y un ligero repunte al finalizar el primer período. Por el contrario, los valores del segundo tiempo permanecían prácticamente constantes a lo largo del mismo.

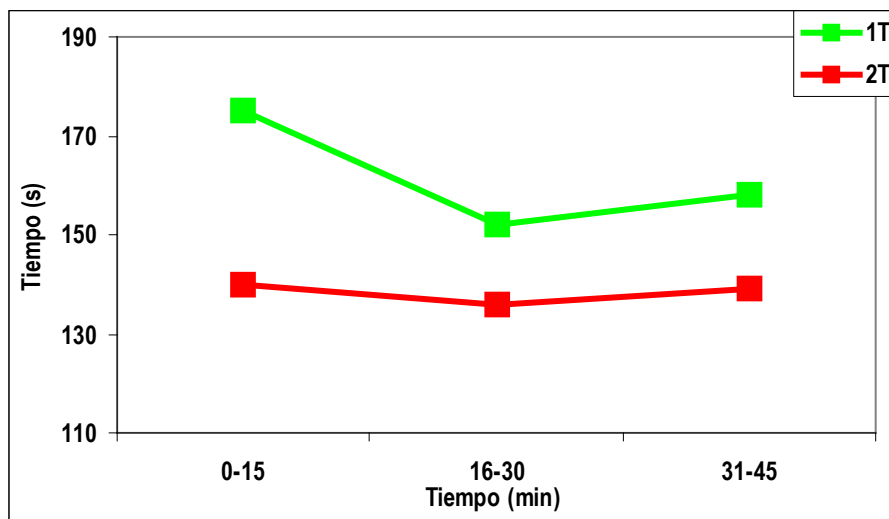


Figura 3.57 Comparación del tiempo empleado en ejercicio a una alta intensidad por los árbitros en intervalos de 15 min durante el primer y segundo tiempo de los partidos.

Al comparar los mismos intervalos de tiempo entre períodos se observó una diferencia significativa ($p<0.01$) entre el tiempo empleado en esfuerzos a una alta intensidad en los primeros 15 min del partido en relación al cuarto de hora que sucedía al descanso siendo el tamaño de este efecto de 2,63. Del mismo modo, en el cuarto de hora inicial se realizaba una mayor cantidad de ejercicio de elevada

intensidad que entre los minutos 61-75 y 76-90 ($p < 0.01$) con una magnitud de los efectos de 2,95 y 2,75, respectivamente.

La ampliación del número de intervalos en los cuales se dividía el partido facilitó la realización de un análisis de la varianza utilizando 9 intervalos de tiempo de 5 min y los 2 períodos de juego realizando las medidas repetidas sobre ambos factores.

Del mismo modo que sucedía en el caso anterior, el factor intervalo no permitía rechazar la hipótesis nula de esfericidad por lo que fue necesario aplicar la corrección de Greenhouse-Geisser ajustando los grados de libertad de la medida al multiplicarlos por el valor de ϵ de 0,60. Tras realizar este ajuste no se encontró un efecto significativo del factor intervalo ($F_{5,53} = 2,21$; $p > 0.05$).

Corroborando los datos obtenidos con anterioridad, el factor período sí mostró un efecto significativo ($F_{1,11} = 28,94$; $p < 0.001$) con una disminución del tiempo empleado en esfuerzos a una alta intensidad con posterioridad al descanso. La potencia observada para esta medida fue de 1 y el valor de ω^2 de 0,55.

La interacción entre ambos factores requirió un ajuste de los grados de libertad ($\epsilon = 0,62$) al no superar la prueba de esfericidad de Mauchly ($p > 0.05$). En cualquier caso la interacción no fue significativa ($F_{5,55} = 1,17$, $p > 0.05$).

La Figura 3.58 representa la interacción entre ambos factores de manera que los árbitros realizaban la mayor cantidad de ejercicio a elevada intensidad entre los minutos 6-10 del primer tiempo, manteniendo unos niveles prácticamente lineales durante el resto del primer período. En el segundo tiempo también manifestaban un comportamiento prácticamente constante aunque experimentaban un descenso de

la prestación entre los minutos 81-85 del partido. De modo general los valores del primer tiempo fueron siempre superiores a los del segundo tiempo a excepción de los 5 últimos minutos de cada período, cuando, por el repunte de la actividad de los árbitros en el intervalo final del partido, los valores se igualaban.

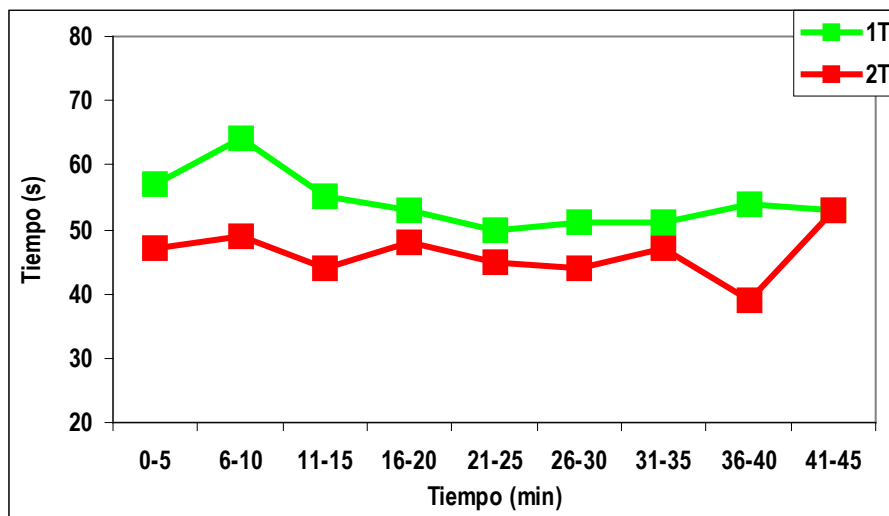


Figura 3.58 Comparación del tiempo empleado en ejercicio a una alta intensidad por los árbitros en intervalos de 5 min durante el primer y segundo tiempo de los partidos.

Profundizando en las diferencias entre los períodos, el tiempo empleado en esta categoría de esfuerzos en los intervalos de minutos 6-10, 11-15, 26-30 y 36-40 fue superior ($p < 0.05$) al empleado entre los minutos 51-55, 56-60, 71-75 y 81-85 con un tamaño respectivo de los efectos de 0,99, 0,84, 0,58 y 1,19. De igual modo los valores máximos alcanzados en el intervalo de minutos 6-10 fueron superiores a los logrados en el intervalo 81-85 siendo la magnitud de este efecto de 2,76.

Tras el intervalo de 5 min en el que el árbitro realizaba una mayor cantidad de ejercicio a alta intensidad, en los siguientes 5 min el tiempo empleado en esta categoría disminuía ($p < 0.001$) un 31,18%. Además en estos 5 min posteriores a los

de las mayores prestaciones en esta categoría el tiempo empleado disminuía significativamente ($p<0.05$) un 7,91% en relación a la media del partido en intervalos de 5 min (Figura 3.59).

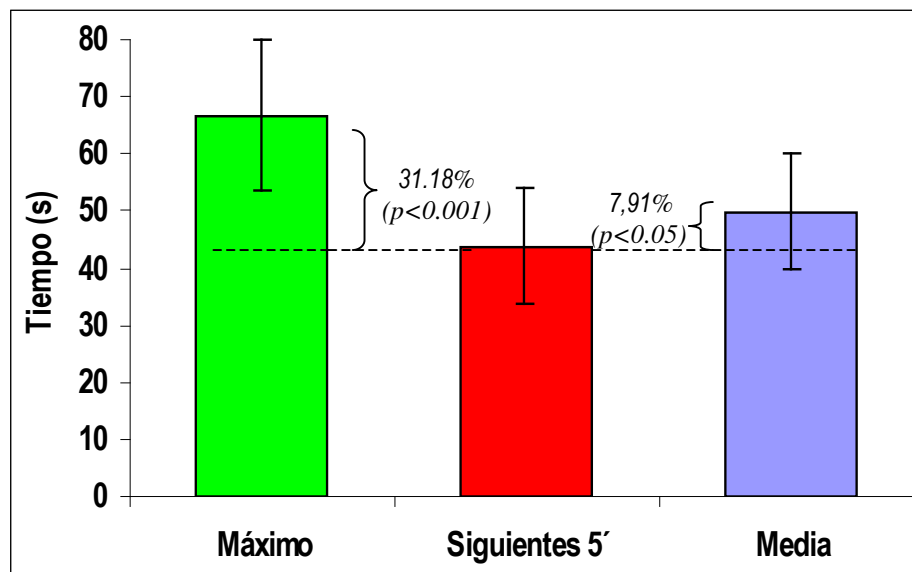


Figura 3.59 Comparación de la cantidad de ejercicio a alta intensidad realizado en los 5 min posteriores al pico máximo logrado durante los partidos y la media del partido.

3.2.3.2 Árbitros asistentes

El análisis de la distribución de la cantidad de ejercicio a una elevada intensidad realizado por los árbitros asistentes en intervalos de 15 min durante los encuentros se llevó a cabo mediante una ANOVA de dos factores realizándose las medidas repetidas sobre ambos factores.

El factor intervalo de tiempo no cumplió con las condiciones de esfericidad de la prueba de Mauchly ($p>0.05$) de manera que fue necesario aplicar el factor corrector de Greenhouse-Geisser ($\epsilon=0,82$). Con este ajuste de los grados de libertad el

efecto fue significativo ($F_{2,42}=6,17$; $p<0.01$) con una potencia observada de 0,85 y una varianza del 64,79% de la total. El tiempo empleado en esfuerzos a una alta intensidad fue superior ($p<0.05$) en los primeros 15 min de cada período que en los 15 min centrales y finales de cada parte con un efecto de 0,32 y 0,44, respectivamente.

Por el contrario el factor período de juego no alcanzó un nivel significativo ($F_{1,23}=3,31$; $p>0.05$) por lo que el tiempo en esfuerzos a una elevada intensidad no sufrió una variación significativa entre períodos siendo el tamaño del efecto de 0,43.

La interacción de los dos factores requirió un ajuste de los grados de libertad ($p>0.05$) empleado un valor ϵ de 0,83. La interacción entre el intervalo de tiempo y el período de juego no fue significativa ($F_{2,39}=0,52$; $p>0.05$). En ambos períodos de juego los árbitros asistentes experimentaron un descenso del tiempo empleado en esfuerzos de elevada intensidad conforme avanzaba el encuentro (Figura 3.60).

Al comparar el rendimiento en los mismos intervalos de tiempo a lo largo de los 2 períodos el ejercicio a una alta intensidad fue mayor en el primer tiempo de los partidos aunque no alcanzó el nivel significativo establecido a priori tanto para los 15 primeros minutos ($p=0,062$; tamaño del efecto: 0,49) como para los 15 últimos minutos ($p=0,080$; 0,39) de cada período.

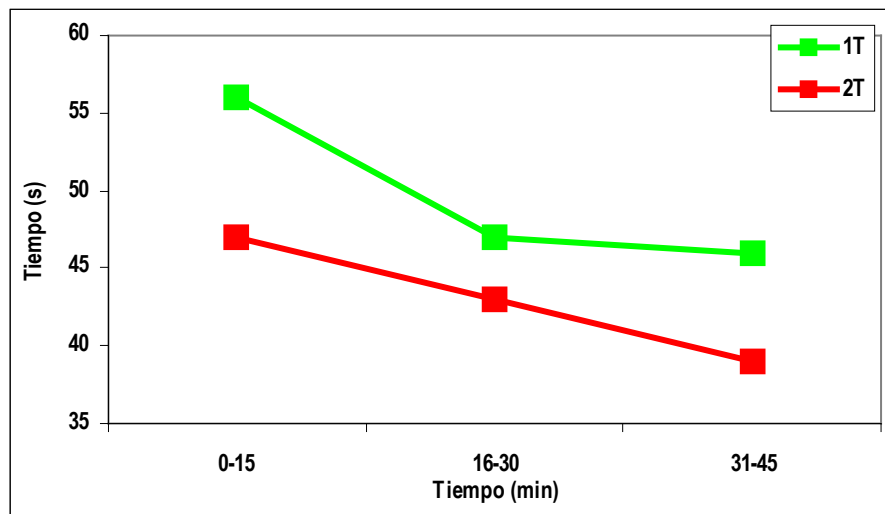


Figura 3.60 Comparación del tiempo empleado en ejercicio a una alta intensidad por los árbitros asistentes en intervalos de 15 min durante el primer y segundo tiempo de los partidos.

La consideración de los esfuerzos realizados a una elevada intensidad al dividir el partido en intervalos de tiempo más reducidos –5 min- no reveló ningún efecto ni interacción relevante que contribuyese a profundizar en las demandas cinemáticas experimentadas por los árbitros asistentes durante los encuentros.

3.2.3.3 Árbitros vs. árbitros asistentes

Al comparar el rendimiento de los jueces entre los 2 períodos haciendo referencia a las acciones realizadas a una elevada intensidad se pudo determinar un efecto significativo debido al factor grupo de jueces ($F_{1,34}=242,30$; $p<0.001$) puesto que la distancia recorrida por los árbitros en esta categoría de esfuerzo era superior a la recorrida por los árbitros asistentes siendo el tamaño de este efecto de 5,51. La potencia observada para un valor de alfa de 0,05 fue de 1 y la varianza del 77,52% de la total.

Las pruebas intra-sujetos realizadas concretaron también un efecto debido al factor período ($F_{1,34}=26,279$; $p<0.001$) con una potencia del estadístico de 1 y un valor de ω^2 de 0,08. La distancia recorrida en forma de ejercicio a una alta intensidad fue superior en el primer tiempo a los segundos 45 min para la muestra conjunta de jueces.

También se pudo determinar una interacción significativa entre los dos factores ($F_{1,34}=9,701$; $p<0.01$). Mientras que los árbitros disminuían su rendimiento en el segundo tiempo de los partidos, en relación a la cantidad de metros recorridos a velocidades por encima de los 3,6 m/s, los árbitros asistentes no tenían una disminución significativa de la prestación al tomar en consideración esta variable (Figura 3.61). La potencia del estadístico fue de 0,86 y se asociaba a la interacción el 2,80% de la varianza total.

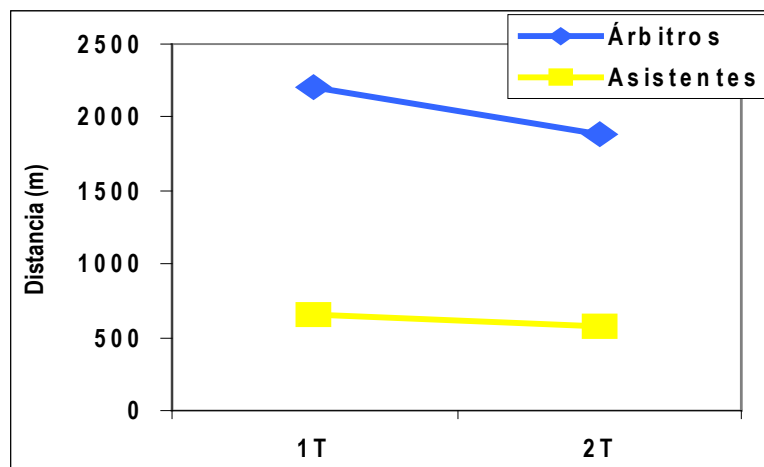


Figura 3.61 Comparación de la distancia recorrida a una alta intensidad por los árbitros y los árbitros asistentes durante los partidos.

Repitiendo el diseño estadístico anterior aunque cambiando la variable dependiente en el análisis, en este caso se utilizó el tiempo empleado en esfuerzos a una

elevada intensidad, se pudo determinar un efecto inter-sujetos significativo ($F_{1,34}=255,82$; $p<0.001$). A lo largo del partido los árbitros permanecían una mayor cantidad de tiempo desarrollando ejercicio a una alta intensidad que los árbitros asistentes con una magnitud del efecto 5,66. La potencia observada fue de 1 y ω^2 de 0,79.

El factor período de juego tuvo también un efecto significativo ($F_{1,34}=24,93$; $p<0.001$) con una potencia el estadístico de 1, representado el 7,44% de la varianza total. El tiempo empleado en esfuerzos a una alta intensidad fue mayor en el primer tiempo que en el segundo.

La interacción de los dos factores (grupo x período de juego) también alcanzó un nivel significativo ($F_{1,34}=7,752$; $p<0.01$). La Figura 3.62 representa esta interacción y revela como mientras que los árbitros disminuían el tiempo empleado en esfuerzos a esta intensidad en los segundos tiempos de los partidos los árbitros asistentes no veían disminuido su rendimiento de una manera significativa atendiendo a esta variable. La potencia de este factor fue de 0,772 y la varianza del 2,10% del total.

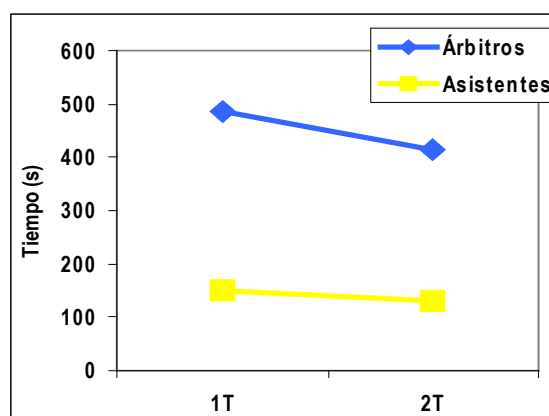


Figura 3.62 Comparación del tiempo empleado en ejercicio a una alta intensidad por los árbitros y los árbitros asistentes durante los partidos.

Para complementar el estudio de las diferencias en el rendimiento de los 2 grupos de jueces se analizó el tiempo empleado en esta categoría de esfuerzos al dividir el partido en intervalos de 15 min mediante una ANOVA (2x6) con medidas repetidas sobre el factor intervalo de tiempo

Las pruebas para comprobar los efectos inter-sujetos mostraron un efecto significativo ($F_{1,34}=257,90$; $p<0.001$) con una potencia observada de 1 y una varianza del 72,44% de la total.

El factor intervalo de tiempo no permitió rechazar la hipótesis nula de esfericidad por lo que fue necesario aplicar el factor corrector de Greenhouse-Geisser con un valor de ϵ de 0,87. El efecto de este factor fue significativo ($F_{4,148}=11,27$; $p<0.001$) la potencia observada de 1 y el valor de ω^2 de 0,14. Durante los primeros 15 min del encuentro los jueces empleaban más tiempo en ejercicio de alta intensidad que en los intervalos de minutos 16-30 ($p<0.01$), 31-45 ($p<0.01$) y 46-60, 61-75 y 76-90 ($p<0.001$).

La Figura 3.63 muestra la interacción entre los dos factores ($F_{4,148}=3,08$; $p<0.05$) siendo la potencia del estadístico de 0,86 y la varianza del 2,93% de la total. El tiempo empleado en ejercicio a una elevada intensidad parece tener una disminución lineal a lo largo del encuentro aunque los árbitros experimentaron un pequeño repunte en el rendimiento entre los minutos 31-45 del primer tiempo, aspecto que no sucede con los árbitros asistentes. Para todos los intervalos de 15 min en los que se dividía el partido el tiempo empleado por los árbitros fue mayor que el de los árbitros asistentes ($p<0.001$).

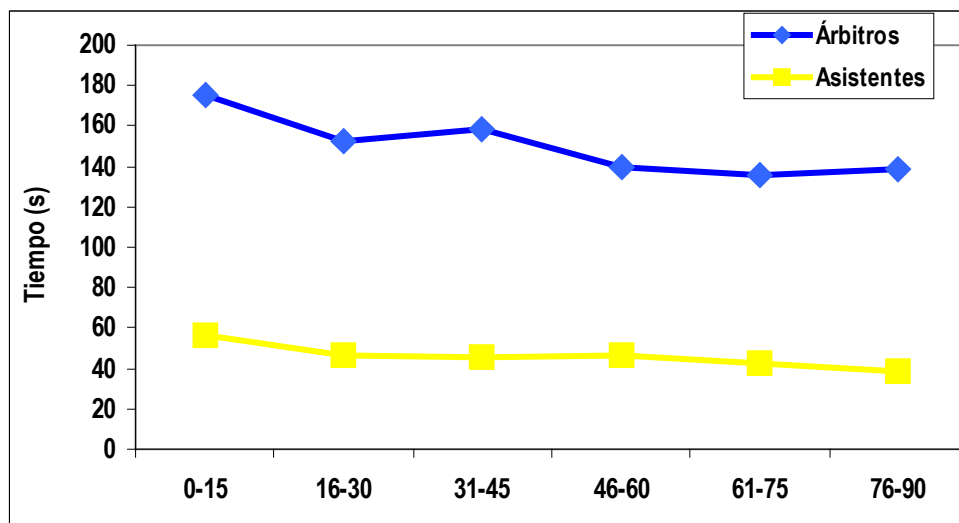


Figura 3.63 Comparación del tiempo empleado en ejercicio a una alta intensidad cada 15 min por los árbitros y los árbitros asistentes durante los partidos.

3.2.4 Posicionamiento técnico

3.2.4.1 Distancia del árbitro a las infracciones

No hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) al comparar el número de incidencias señaladas en el primer y segundo tiempo (213 frente a 195 faltas) ni al dividir el partido en intervalos de 15 min ($F_{5,55}=1,88$; $p > 0.05$).

Al analizar la frecuencia de las infracciones en función de la zona del terreno de juego en la que eran señaladas tampoco se observaron diferencias significativas ($F_{3,44}=1,31$; $p > 0.05$) en ninguna de las cuatro zonas propuestas en el presente estudio.

Para analizar la evolución de la distancia a las infracciones a lo largo del encuentro se realizó un análisis de la varianza utilizando las 4 zonas en las que se dividía el

campo (ataque derecha, ataque izquierda, central derecha y central izquierda) y los 2 períodos de juego realizando las medidas repetidas sobre ambos factores.

Al clasificar las infracciones según la zona en la que éstas eran señaladas se observó un efecto significativo de la zona ($F_{3,44}=22,39$; $p<0.001$) con una potencia observada de 1 y un valor de ω^2 de 0,80. Se comprobó que en la zona de ataque derecha la distancia a la que se señalaban las faltas fue significativamente mayor ($p<0.01$) que en las otras 3 zonas (ataque izquierdo, central derecha y central izquierda). El posicionamiento del árbitro asistente siempre en la zona derecha del ataque y el ser una de las zonas extremas del campo liberan al árbitro de seguir el juego más de cerca en esta zona ya que cuenta, en teoría, con la supervisión y ayuda del árbitro asistente en la misma.

Aunque la distancia a la que el árbitro señalaba las faltas aumentó del primer al segundo tiempo (de 16,18 a 16,69 m) el efecto del factor período no fue significativo ($F_{1,44}=1,63$; $p>0.05$). Un estudio estadístico complementario tampoco reveló diferencias significativas ($p>0.05$) al comparar la distancia media a las infracciones en intervalos de 15 min a lo largo del juego.

La interacción entre los dos factores no mostró un efecto significativo ($F_{3,44}=2,06$; $p>0.05$) y la potencia observada fue de 0,491. La Figura 3.64 permite observar como en la zona de ataque izquierda, aquella más lejana a los movimientos habituales del árbitro, la distancia a las infracciones era mayor en el segundo tiempo que en el primero ($p<0.05$) siendo el tamaño de este efecto de 0,61.

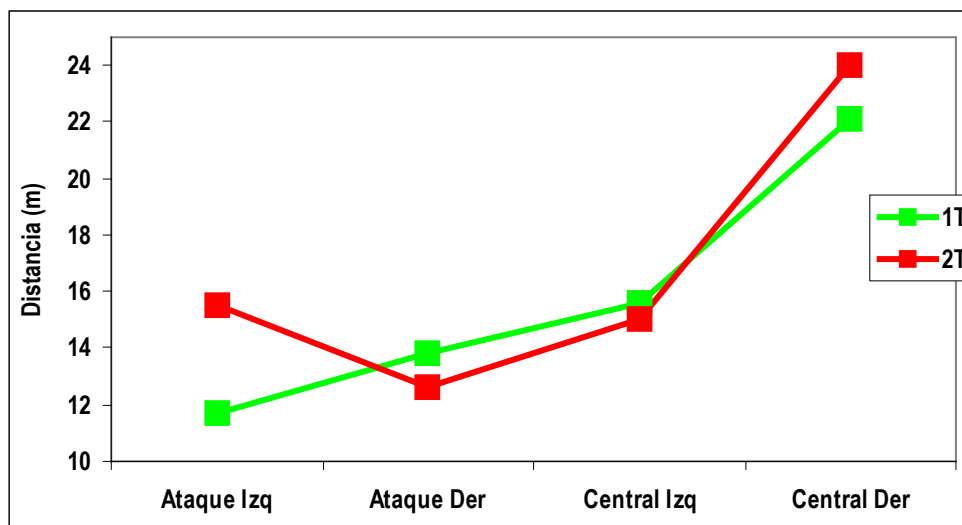


Figura 3.64 Evolución de las distancia media del árbitro al lugar de señalización de las infracciones por zona del campo y período de juego.

3.2.4.2 Distancias del árbitro asistente a las infracciones (fuera de juego)

No hubo diferencias significativas ($p>0.05$) entre el número de fuera de juego señalados en el primer y segundo tiempo, ni entre los señalados en la zona de ataque y en la zona media ($p>0.05$). Tampoco hubo diferencias al considerar la distancia a la que se señalaban los fuera de juego entre períodos ($p>0.05$) ni entre zonas ($p>0.05$).

La Figura 3.66 representa la evolución de la distancia a la que se señalaban los fuera de juego a lo largo del partido por zonas. Aunque en los segundos períodos de los encuentros los árbitros asistentes permanecían más alejados de la línea del fuera de juego en la zona de ataque las diferencias entre períodos no fueron significativas ($p>0.05$). Del mismo modo, a pesar de estar más cerca de la línea de juego en la zona central, las diferencias no fueron significativas ($p>0.05$).

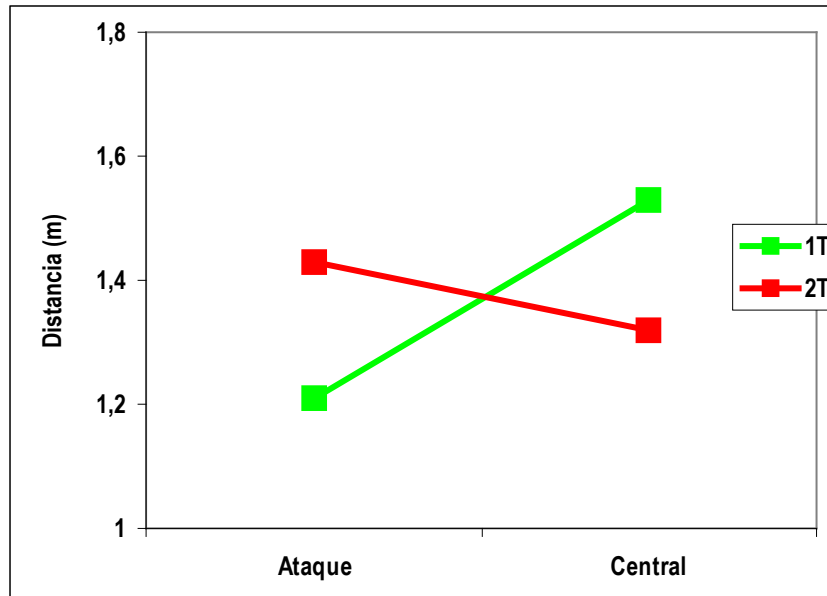


Figura 3.65 Evolución de la distancia media del árbitro asistente a la línea del fuera de juego en las 2 zonas del campo a lo largo del partido.

3.2.5 Frecuencia cardiaca

3.2.5.1 Árbitros

El análisis del comportamiento de la variable fisiológica de la frecuencia cardiaca a lo largo de los partidos se realizó mediante un análisis de la varianza con medidas repetidas utilizando los 3 intervalos de tiempo de 15 min en los que se dividía cada parte del encuentro y los 2 períodos de juego (ANOVA 3x2) realizando las medidas repetidas sobre ambos factores.

El factor intervalo de tiempo cumplió con las condiciones que impone la prueba de esfericidad de Mauchly ($p < 0.05$) y mostró un efecto significativo ($F_{2,18}=11,43$; $p < 0.01$). La potencia observada fue de 0,98 y el valor de ω^2 fue de 0,37. La frecuencia cardiaca durante los primeros 15 min de cada período fue mayor que

entre los minutos 16-30 ($p<0.01$) y 31-45 ($p<0.05$) siendo el tamaño respectivo de los efectos de 0,34 y 0,72.

El factor período también tuvo un efecto significativo ($F_{1,9}=10,72$; $p<0.05$) con una potencia observada de 0,82 y una varianza del 17,31% de la total. La frecuencia cardiaca de los árbitros fue mayor en el primer tiempo que en el segundo período de juego con una magnitud del efecto de 0,68.

La interacción de ambos factores no cumplió con las condiciones de la prueba de esfericidad de Mauchly por lo que fue necesario ajustar los grados de libertad según la corrección de Greenhouse-Geisser ($\epsilon=0,69$). La interacción mostró un efecto significativo ($F_{2,18}=8,81$; $p<0.01$) con una potencia de la interacción de 0,84 al tiempo que supuso el 27,78% de la varianza total.

La interacción entre los dos factores se ilustra en la Figura 3.66 en la que se puede observar como la FC_{med} mantiene una disminución prácticamente lineal durante los 3 intervalos de 15 min del primer tiempo mientras que en el segundo tiempo manifiesta un repunte en el tramo central del período, volviendo a disminuir en el cuarto de hora final. Al comparar los valores entre períodos, la frecuencia cardiaca fue mayor ($p<0.001$) en los primeros 15 min del partido en relación al cuarto de hora que sucedía al descanso. La magnitud de este efecto fue de 1,83. Profundizando en la diferencia entre las medias de los distintos intervalos utilizando la corrección de Bonferroni, se pudo comprobar también como la FC_{med} de los 15 min iniciales del partido era mayor que la de los intervalos de minutos 61-75 ($p<0.05$) y 16-30, 31-45 y 76-90 ($p<0.01$) con un tamaño de los efectos de 1,29, 1,31, 1,50 y 1,74, respectivamente.

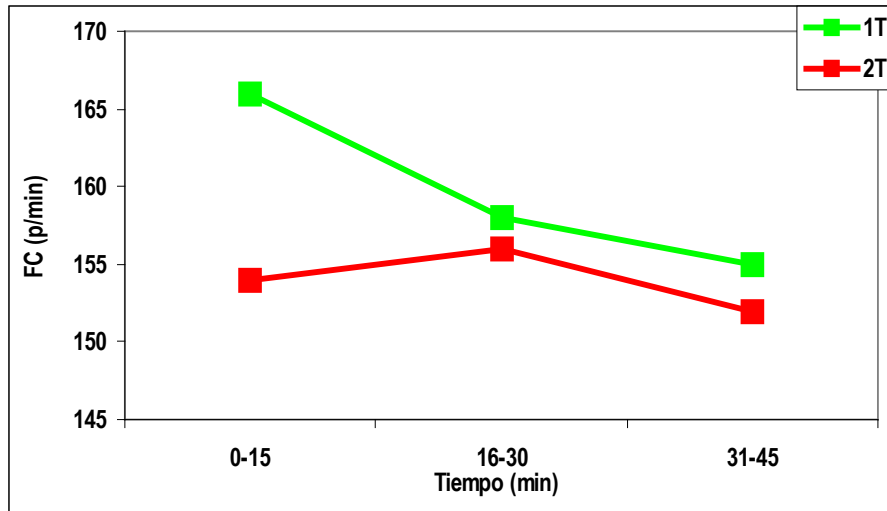


Figura 3.66 Evolución de la frecuencia cardiaca de los árbitros en intervalos de 15 min a lo largo de los partidos.

Al agrupar los valores de frecuencia cardiaca en intervalos absolutos de pulsaciones se pudo estudiar su evolución a lo largo del partido mediante un análisis de la varianza utilizando los 5 intervalos de pulsaciones previamente definidos (<110, 111-130, 131-150, 151-170 y >170 p/min) y los 2 períodos de juego realizando las medidas repetidas sobre ambos factores.

La aplicación de la prueba de esfericidad de Mauchly sobre el factor categoría permitió rechazar la hipótesis nula ($p < 0.001$) y determinar un efecto significativo ($F_{4,36} = 134,94$; $p < 0.001$) con una potencia observada de 1 y un valor de ω^2 de 0,95. El tiempo empleado por los árbitros en el intervalo de pulsaciones 151-170 fue mayor que por debajo de 130 y por encima de 170 p/min ($p < 0.001$) y también superior que entre 131-150 p/min ($p < 0.05$). En este intervalo, 131-150 p/min, los árbitros permanecieron más tiempo que por debajo de las 130 ($p < 0.001$) y por encima de las 170 ($p < 0.01$) p/min. Por último, por debajo de los 110 p/min los árbitros estuvieron menos tiempo que en el intervalo 111-130 y por encima de las 170 p/min ($p < 0.01$).

Al realizarse las comparaciones utilizando porcentajes de tiempo el factor período de juego no mostró un efecto significativo ($p < 0.05$).

La interacción entre los dos factores permitió rechazar la hipótesis nula de esfericidad ($p < 0.001$) al tiempo que alcanzó un nivel significativo ($F_{4,36}=5,30$; $p < 0.01$) siendo la potencia del estadístico de 0,98. La varianza asociada a esta medida fue del 3,05% de la total. La Figura 3.67 muestra como los árbitros estuvieron más tiempo en los primeros tiempos de los partidos por encima de las 171 p/min mientras que en los segundos tiempos aumentaron la permanencia entre las 111 y 150 p/min.

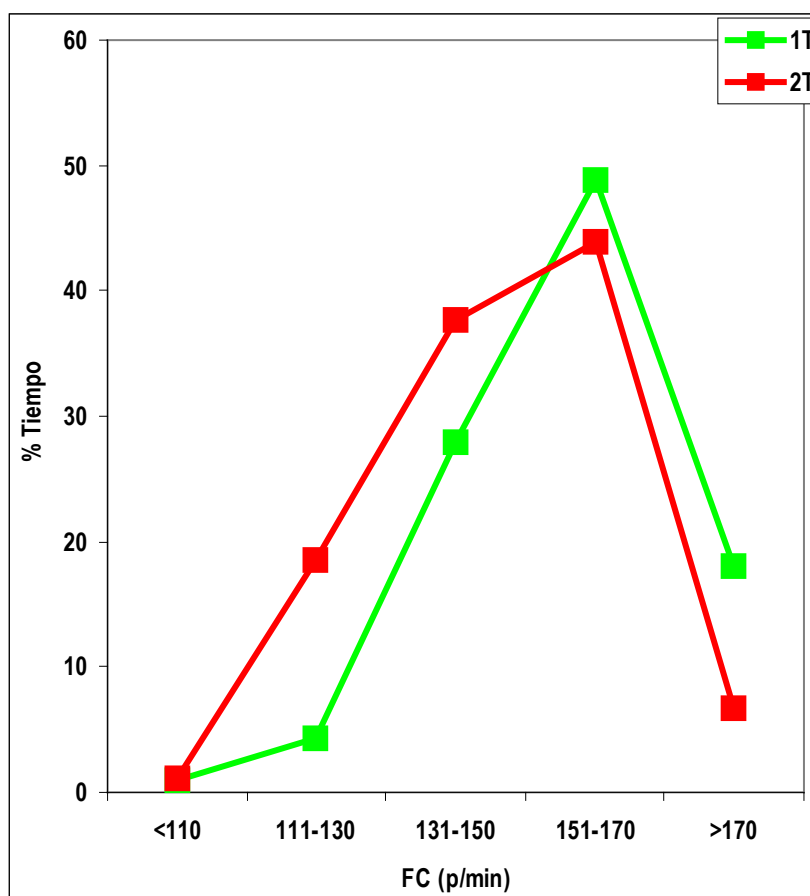


Figura 3.67 Comparación del tiempo empleado por los árbitros en los distintos intervalos absolutos de pulsaciones a lo largo del partido.

Pormenorizando en los datos representados en la anterior gráfica el tiempo empleado por los árbitros en el primer período de los encuentros por encima de las 170 p/min alcanzó un nivel significativo ($p<0.05$) con un tamaño del efecto de 1,33 en relación al segundo período. Por el contrario, también se observaron diferencias significativas entre los intervalos de pulsaciones 111-130 ($p<0.05$) y 131-150 ($p<0.01$) con una magnitud de los efectos de 1,33 y 1,35, respectivamente.

Para analizar el comportamiento de la frecuencia cardiaca en intervalos relativos, es decir, expresando los valores en función de la $FC_{\text{máx}}$ de cada deportista se realizó un diseño estadístico idéntico al del caso anterior cambiando la nomenclatura de las 5 categorías de esfuerzo (recuperación pasiva, recuperación activa, media intensidad, alta intensidad y máxima intensidad).

Al igual que en el análisis anterior el factor categoría cumplió las condiciones de esfericidad y tuvo un efecto significativo ($F_{4,36}=28,29$; $p<0.001$) de manera que el tiempo empleado por los árbitros en las categorías de intensidad media y alta fue mayor que el empleado en las otras tres categorías ($p<0.001$) aunque la diferencia entre “alta intensidad” y “recuperación activa” alcanzó el nivel estadístico de $p<0.05$. En la categoría de “recuperación activa” los árbitros permanecieron más tiempo por debajo del 65% ($p<0.001$) y por encima del 95% ($p<0.05$) de la $FC_{\text{máx}}$. Además los esfuerzos máximos ocuparon más tiempo ($p<0.01$) que los mínimos. La potencia asociada a este factor fue de 1 y el valor de ω^2 de 0,92.

Tal y como sucedía con las demás comparaciones fundamentadas en las distribuciones porcentuales de los esfuerzos el factor período no reveló ningún efecto significativo ($p<0.05$).

La interacción de los dos factores, período de juego y categorías relativas de esfuerzo, permitió rechazar la hipótesis nula de esfericidad ($p < 0.05$) deparando un nivel significativo ($F_{4,36}=6,18$; $p < 0.01$). La potencia observada fue de 0,98 y la varianza del 5,13% de la total. Mientras que en los primeros tiempos de los partidos los árbitros estaban más tiempos a una alta y máxima intensidad, es decir, por encima del 85% de la $FC_{máx}$ del deportista, en los segundos tiempos aumentaba la permanencia en las categorías de “recuperación activa” y de “media intensidad” o lo que es lo mismo, entre el 66 y el 85% de la $FC_{máx}$ (Figura 3.68).

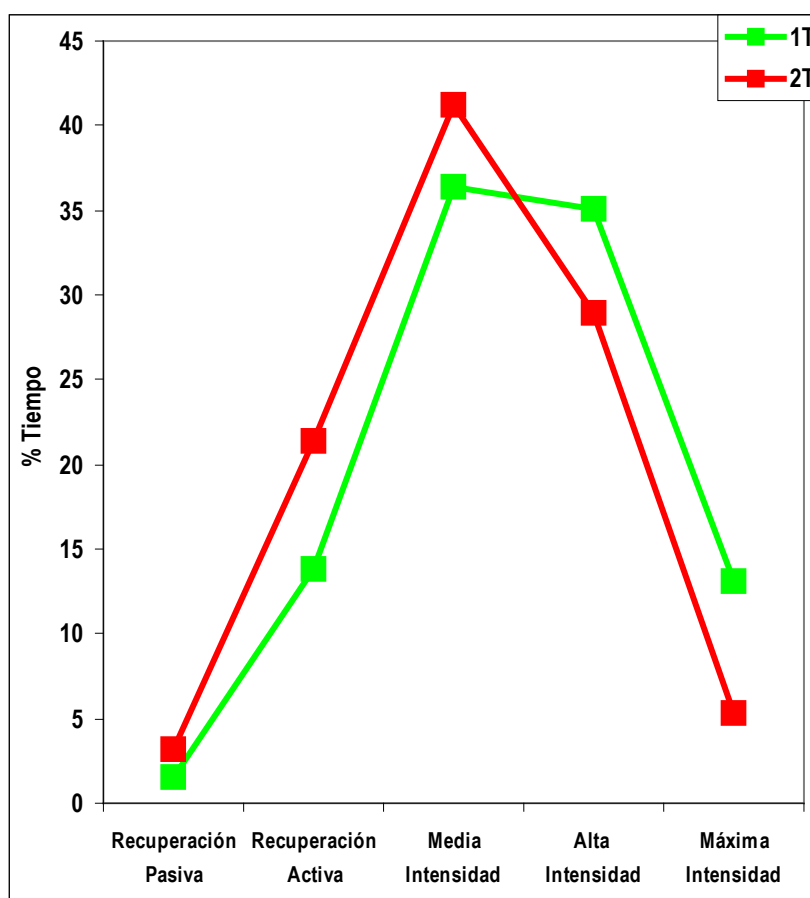


Figura 3.68 Comparación del tiempo empleado por los árbitros en los distintos intervalos relativos de pulsaciones a lo largo del partido.

Complementando los datos de la Figura 3.68 la diferencia entre el tiempo empleado por los árbitros en la categoría de “recuperación activa” alcanzó un nivel significativo ($p<0.05$) con una magnitud del efecto de 1,15 mientras que en los esfuerzos que conllevaban una máxima sollicitación cardíaca eran predominantes en el primer tiempo de los partidos ($p<0.001$) con un tamaño del efecto de 2,54.

3.2.5.2 Árbitros asistentes

El estudio de la respuesta de los árbitros asistentes a lo largo de los partidos se llevó a cabo de la misma manera que en el caso de los árbitros. La frecuencia cardíaca durante los intervalos de 15 min se estudió mediante un análisis de la varianza sobre medidas repetidas utilizando como factores los intervalos de tiempo en los que se dividía el partido y los períodos de juego (3 intervalos de 15 min x 2 períodos).

Los grados de libertad del factor intervalo de tiempo debieron ser ajustados mediante la corrección de Greenhouse-Geisser ($\epsilon=0,82$) al no cumplir con la prueba de esfericidad de Mauchly ($p>0.05$). Tras realizar este ajuste el factor intervalo tuvo un efecto significativo ($F_{2,31}=5,66$; $p<0.05$) con una potencia observada de 0,77 y un valor de ω^2 de 0,19. La frecuencia cardíaca durante los primeros 15 min de cada período fue superior ($p<0.05$) a la del cuarto de hora final de cada tiempo con un tamaño del efecto de 0,32.

El factor período de juego también mostró un efecto significativo ($F_{1,19}=14,47$; $p<0.01$) puesto que la frecuencia cardíaca fue mayor en el primer período que en el

segundo, siendo la magnitud del efecto de 0,62. La potencia observada fue de 0,95 y la varianza del 28,17% de la total.

La interacción de los dos factores no permitió rechazar la hipótesis nula de esfericidad ($p>0.05$) por lo que fue necesario aplicar el factor de corrección de Greenhouse-Geisser ($\epsilon=0,90$). Una vez realizado el ajuste de los grados de libertad la interacción fue significativa ($F_{2,38}=3,52$; $p<0.05$). La potencia observada fue de 0,59, para una varianza del 10,53% de la total. Durante el primer tiempo de los encuentros los árbitros asistentes trabajaban a una frecuencia cardiaca menor conforme avanzaba el tiempo mientras que en el segundo período de juego tenían unos valores más elevados en la parte central del mismo (Figura 3.69).

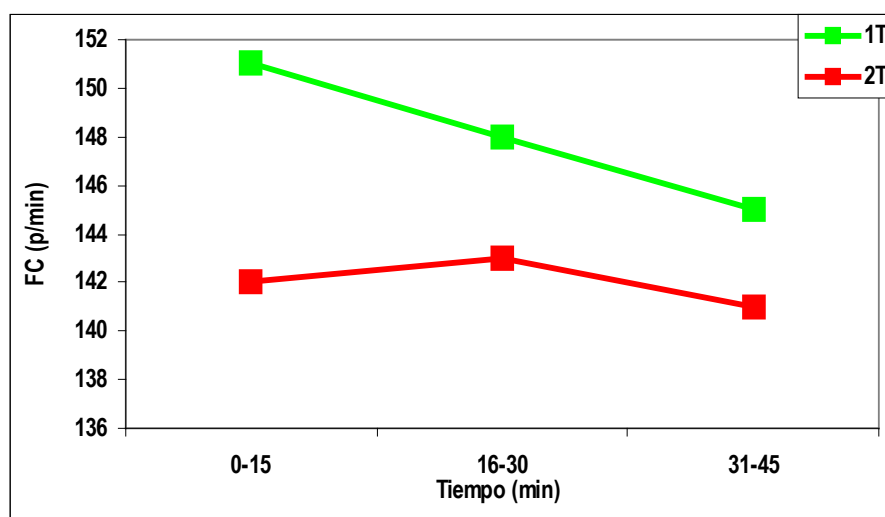


Figura 3.69 Evolución de la frecuencia cardiaca de los árbitros asistentes en intervalos de 15 min a lo largo de los partidos.

Al comparar los mismos intervalos de 15 min en los 2 períodos se pudo observar una FC_{med} más elevada en los primeros 15 min del primer tiempo en relación con el cuarto de hora que sucedía al descanso ($p<0.001$; tamaño del efecto: 0,89) y

también entre los minutos 16-30 que entre 61-75 ($p<0.05$; 0,58). La FC_{med} lograda en los primeros 15 min del partido fue mayor que la del resto de intervalos de 15 min en los que se dividía el encuentro: 61-75 ($p<0.05$; 0,79), 16-30, 31-45 y 76-90 ($p<0.01$; 0,28, 0,54 y 0,88, respectivamente).

Para poder analizar la respuesta de la frecuencia cardiaca atendiendo a distintas categorías de esfuerzo se realizó un análisis de la varianza para medidas repetidas considerando los 5 intervalos de pulsaciones y los 2 períodos de juego, llevando a cabo las medidas repetidas sobre ambos factores.

La aplicación de la prueba de esfericidad de Mauchly sobre el factor intervalo de pulsaciones permitió rechazar la hipótesis nula de esfericidad ($p<0.001$), observándose un efecto significativo para dicho factor ($F_{4,76}=44,17$; $p<0.001$). La potencia observada para esta medida fue de 1 mientras que ω^2 fue de 0,85. El tiempo empleado por los árbitros asistentes a intensidades por debajo de las 110 p/min fue inferior ($p<0.001$) al empleado en los intervalos de 111-130, 131-150 y 151-170 p/min. Del mismo modo el tiempo empleado entre 131-150 p/min fue mayor ($p<0.001$) que entre 111-130 y más de 170 p/min y, por último, el empleado entre 151-170 mayor ($p<0.001$) que el que excedía las 170 p/min.

Debido a que las medidas comprendían porcentajes de tiempo, el factor período no mostró un efecto significativo ($F_{1,19}=0,67$; $p>0.05$).

La interacción entre los dos factores intervalos de pulsaciones x período de juego permitió rechazar la hipótesis nula de esfericidad ($p<0.001$) y logró un nivel significativo ($F_{4,76}=3,482$; $p<0.05$). Al comparar los 2 períodos de juego entre sí se puede observar (Figura 3.70) cómo, durante los 45 min iniciales, los árbitros

asistentes estaban más tiempo por encima de las 151 p/min, mientras que tras el descanso, prevalecían los esfuerzos por debajo de las 150 p/min, denotando una menor intensidad global del ejercicio.

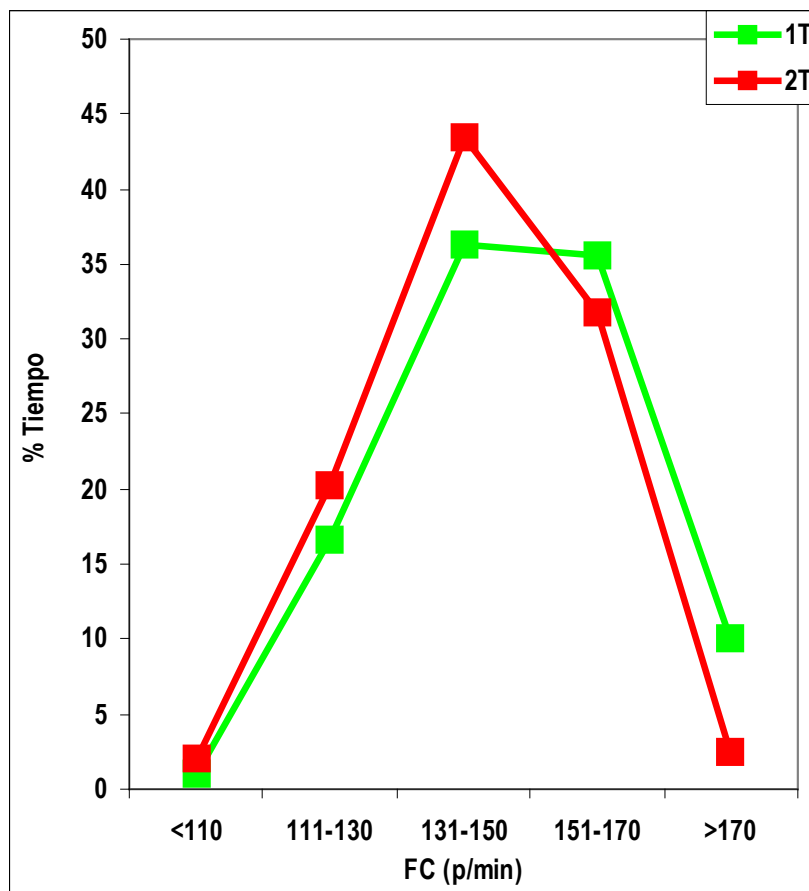


Figura 3.70 Comparación del tiempo empleado por los árbitros asistentes en los distintos intervalos absolutos de pulsaciones a lo largo del partido.

Profundizando en la anterior representación gráfica, los árbitros asistentes estuvieron durante los primeros tiempos de los partidos un porcentaje significativamente ($p<0.05$) mayor de tiempo por encima de las 170 p/min que en el segundo tiempo, con un tamaño del efecto de 0,85. Por el contrario, los árbitros asistentes estuvieron un porcentaje de tiempo significativamente mayor ($p<0.05$) en

el rango de pulsaciones 130-150 durante el segundo tiempo que en el primer tiempo, siendo la magnitud de este efecto de 0,59.

Los datos presentados en la anterior gráfica representan los valores absolutos de frecuencia cardiaca. Para facilitar la comparación entre distintos estudios resulta conveniente hacer referencia a los valores relativos de frecuencia cardiaca, es decir, expresar la misma en función de la $FC_{\text{máx}}$ de cada sujeto. Para llevar a cabo este proceso, al igual que en caso anterior, se empleó un diseño de análisis de la varianza con medidas repetidas sobre dos factores, los 2 períodos de juego y las 5 categorías de esfuerzo establecidas de antemano.

Los datos del factor categorías permitieron rechazar la hipótesis nula de la esfericidad de los mismos ($p < 0.001$) y se observó un efecto significativo de dicho factor ($F_{4,76}=50,56$; $p < 0.001$). La potencia observada fue de 1 y el valor de ω^2 fue de 0,78. La categoría en la que más tiempo permanecieron los árbitros asistentes fue la de “media intensidad” con valores superiores a los de la “recuperación pasiva”, “alta intensidad” y “máxima intensidad” ($p < 0.001$) y también mayor que en la categoría “recuperación activa” ($p < 0.01$). En la categoría de “recuperación activa” estuvieron más tiempo ($p < 0.001$) los árbitros que en “recuperación pasiva” y “máxima intensidad” y en “alta intensidad” más tiempo ($p < 0.001$) que en “máxima intensidad”.

Tal y como sucedía con los datos de la prueba anterior, al expresarse porcentualmente la medida el factor período no tuvo un efecto significativo ($F_{1,19}=1,33$; $p > 0.05$).

La Figura 3.71 representa la interacción significativa entre los factores período de juego y categoría de esfuerzo una vez rechazada la hipótesis nula de esfericidad ($F_{4,76}=10,08$; $p<0.001$). Durante los primeros tiempos de los partidos los árbitros asistentes permanecieron más tiempo en esfuerzos que superaban el 85% de la $FC_{\text{máx}}$ de los deportistas en relación al segundo período. Por el contrario, tras el descanso, aumentaba el tiempo empleado en intensidades por debajo del 85% de la $FC_{\text{máx}}$. La potencia alcanzada por la interacción fue de 1 con un 14,24% de la varianza total.

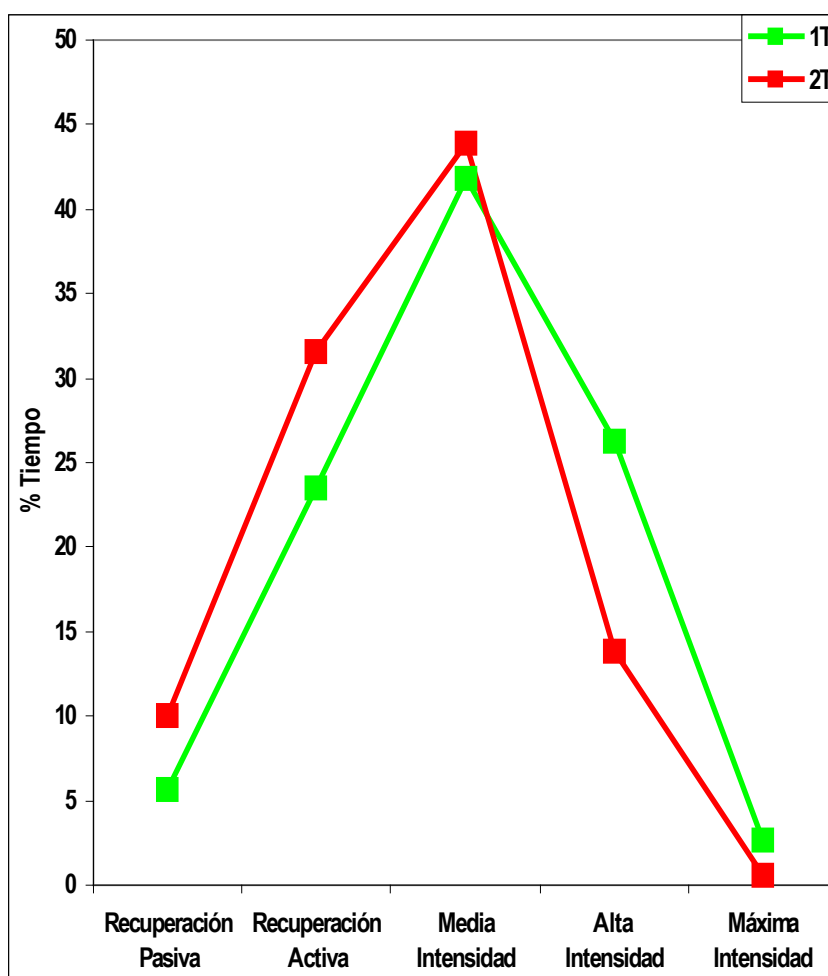


Figura 3.71 Comparación del tiempo empleado por los árbitros asistentes en los distintos intervalos relativos de pulsaciones a lo largo del partido.

En los primeros tiempos los árbitros asistentes estuvieron más tiempo en las categorías de “alta” ($p<0.001$) y “máxima intensidad” ($p<0.001$) con un tamaño respectivo de los efectos de 0,94 y 0,62 mientras que en los segundos tiempos se observa una disminución de la intensidad relativa de los esfuerzos, aumentando la estancia en la categoría de “recuperación activa” ($p<0.01$; tamaño del efecto: 0,68) y de “recuperación pasiva” ($p=0.056$; 0,45).

3.2.5.3 Árbitros vs. árbitros asistentes

De cara a la determinación de las diferencias en cuanto a la respuesta fisiológica de los árbitros y árbitros asistentes durante los partidos se efectuaron diversas comparaciones, utilizando para ello los datos de pulsaciones descritos con anterioridad. De este modo se pretendía establecer el perfil característico de cada población arbitral.

Para poder realizar este tipo de comparaciones entre los 2 tipos de roles de jueces se utilizaron diseños estadísticos que incluían análisis de la varianza sobre medidas repetidas. En el intento por cotejar las diferencias entre la FC_{med} obtenida en cada uno de los 2 períodos de juego, el diseño abarcaba la comparación de las 2 poblaciones de deportistas (árbitros y árbitros asistentes) y los 2 períodos de juego, realizándose las medidas repetidas sobre este último factor.

Las pruebas de los efectos inter-sujetos revelaron un nivel significativo del factor grupo de jueces ($F_{1,28}=19,28$; $p<0.001$) con una potencia observada de 0,99 siendo la varianza del 28,11% de la total. La frecuencia cardiaca de los árbitros fue

superior a la de los árbitros asistentes durante los encuentros, con una magnitud del efecto de 1,71.

Tras pasar la prueba de esfericidad de Mauchly sobre el factor período de juego se pudo estimar un efecto significativo del mismo ($F_{1,28}=19,50$; $p<0.001$). La potencia observada fue de 0,99 y el valor de ω^2 de 0,28. La frecuencia cardiaca de los jueces era superior en el primer tiempo que en el segundo tiempo de los partidos.

No se observó ninguna interacción significativa entre los dos factores anteriores ($F_{1,28}=0,05$; $p>0.05$). Para ambos grupos de jueces la FC_{med} disminuyó de una manera prácticamente lineal del primer al segundo tiempo del partido (Figura 3.72).

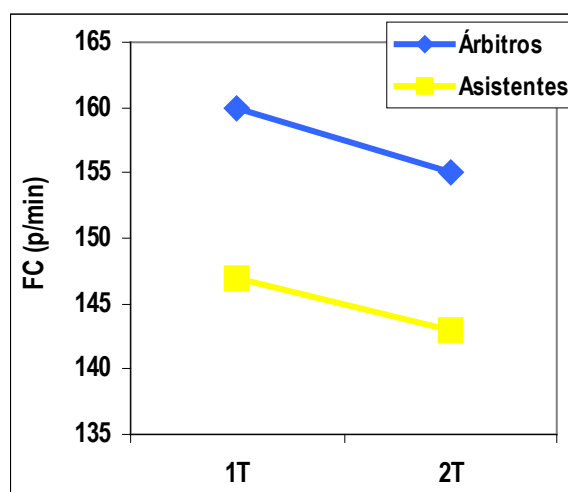


Figura 3.72 Comparación de los valores de FC_{med} de los árbitros y árbitros asistentes durante los dos períodos de juego.

Para realizar las comparaciones en intervalos de 15 min el análisis de la varianza repitió la estructura anterior, aunque en este caso se emplearon 6 intervalos de minutos sobre los que se llevaron a cabo las medidas repetidas.

Al igual que sucedía al realizar las comparaciones entre los 2 períodos de 45 min, con este diseño se observó también un efecto significativo del factor grupo de jueces ($F_{1,28}=13,48$; $p<0.01$) siendo la potencia observada de 0,94 y el valor de ω^2 de 0,13.

En relación a la comparación entre intervalos de 15 min, los datos permitieron rechazar la hipótesis nula de esfericidad ($p<0.001$) hallándose un efecto significativo para este factor ($F_{5,140}=15,99$; $p<0.001$). La potencia estadística de este factor fue de 1 y el valor de ω^2 de 0,59. La FC_{med} durante los primeros 15 min del partido fue mayor para el conjunto de jueces que en el intervalo de minutos 16-30 ($p<0.01$) y que para los 4 intervalos que van desde el minuto 31 al 90 ($p<0.001$). Del mismo modo la FC_{med} entre los minutos 16-30 fue superior ($p<0.05$) a la media de los intervalos 46-60 y 76-90.

La interacción entre los dos factores no alcanzó un nivel significativo ($F_{5,140}=0,82$; $p>0.05$). La Figura 3.73 ilustra la evolución de la frecuencia cardíaca a lo largo del tiempo para los 2 grupos de jueces con un descenso paulatino de la media en los sucesivos intervalos. La frecuencia cardíaca fue en todos los casos mayor para los árbitros que para los árbitros asistentes, con un nivel significativo ($p<0.05$) entre los intervalos 31-45 y 76-90 y un nivel ($p<0.01$) para los otros 4 intervalos de 15 min.

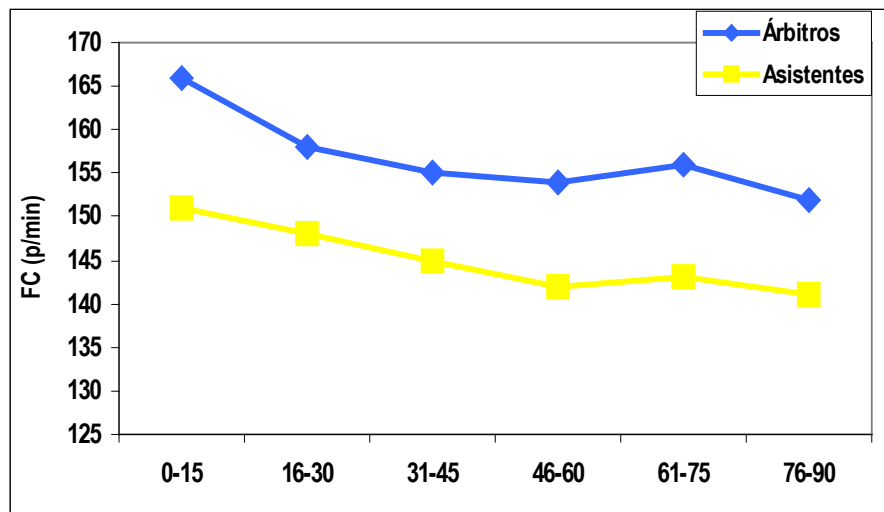


Figura 3.74 Comparación de los valores de FC_{med} de los árbitros y árbitros asistentes en intervalos de 15 min durante los partidos.

Profundizando en las diferencias entre la respuesta de la frecuencia durante el juego en árbitros y árbitros asistentes se compararon los porcentajes de tiempo empleados en distintos intervalos de pulsaciones tanto absolutas como relativas. En ambos casos las medidas repetidas se realizaron sobre el factor intervalo de pulsaciones.

Al realizarse las comparaciones utilizando porcentajes de tiempo el factor grupo de jueces no tuvo un efecto significativo ($F_{1,28}=0,01$; $p>0.05$).

El factor categoría de esfuerzo (intervalo de pulsaciones) permitió rechazar la hipótesis nula de esfericidad ($p<0.001$) y tuvo un efecto significativo ($F_{4,112}=83,15$; $p<0.001$). La potencia de la medida fue de 1 y el valor de ω^2 de 0,87. El tiempo empleado por los jueces entre las 131 y 170 p/min fue superior ($p<0.001$) al que estuvieron por debajo de las 130 y por encima de las 170 p/min. Por el contrario, los jueces estuvieron menos tiempo ($p<0.001$) por debajo de las 110 p/min que entre 111-130 y por encima de las 170 p/min.

En relación a la combinación de los dos factores la Figura 3.74 muestra la interacción significativa entre los mismos ($F_{4,112}=5,59$; $p<0.001$) y cómo los árbitros estuvieron más tiempo que los árbitros asistentes por encima de las 150 p/min y menos tiempo por debajo de dicho valor. La potencia observada para este medida fue de 0,974 y la varianza asociada a la misma del 4,88% de la total.

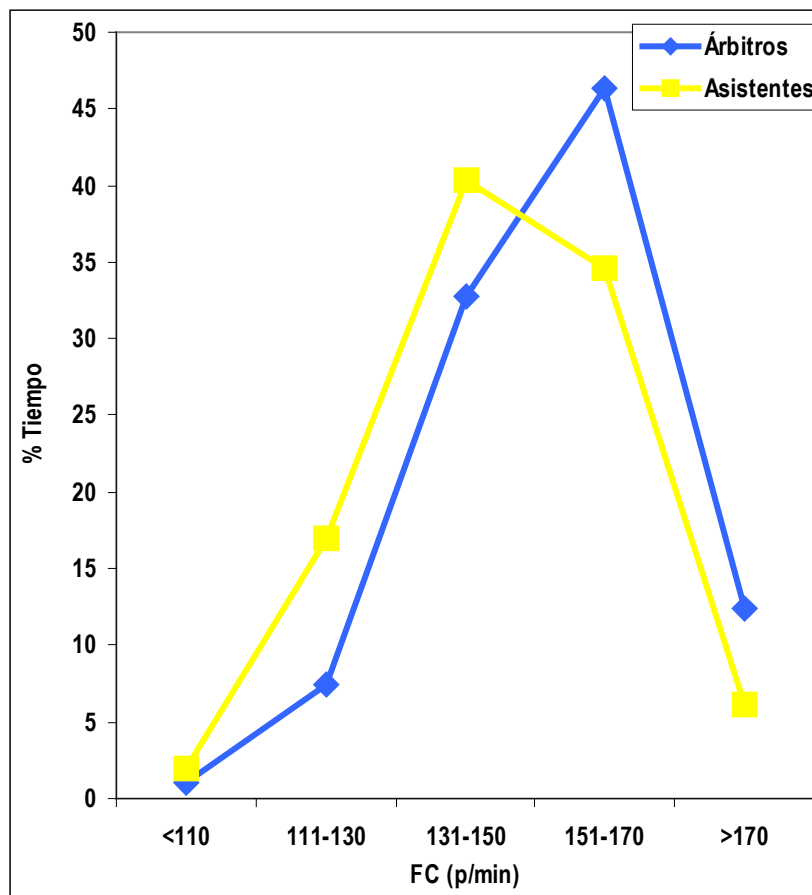


Figura 3.74 Comparación del tiempo empleado en distintos intervalos de pulsaciones absolutas por los árbitros y árbitros asistentes durante los partidos.

Estos datos permiten constatar cómo los árbitros emplearon una mayor cantidad de tiempo ($p<0.05$) durante los partidos en los intervalos de 151-170 y por encima de las 170 p/min, con un tamaño de los efectos de 0,96 y 1,07, respectivamente. Por el

contrario, fueron los árbitros asistentes los que estuvieron una mayor cantidad de tiempo ($p<0.05$) en los intervalos de pulsaciones 111-130 y 131-150, siendo la magnitud respectiva de los efectos de 0,85 y 0,88.

Para efectuar las comparaciones al agrupar los valores de frecuencia cardiaca en intervalos relativos, es decir, en función de la $FC_{\text{máx}}$ de cada deportista, el diseño estadístico fue idéntico al del caso anterior cambiando la nomenclatura de las 5 categorías de esfuerzo utilizadas.

De nuevo, al haber realizado las comparaciones utilizando medidas porcentuales, no se observó un efecto debido al factor grupo de jueces.

Al aplicar la prueba de esfericidad de Mauchly sobre el factor categoría de esfuerzo se pudo rechazar la hipótesis nula de esfericidad ($p<0.001$) y determinar un efecto significativo ($F_{4,112}=76,55$; $p<0.001$) siendo la potencia de la medida de 1. El valor de ω^2 para esta medida fue de 0,85. Los jueces estuvieron más tiempo ($p<0.001$) en la categoría de “media intensidad” que en las otras cuatro categorías. El tiempo empleado en las categorías de “recuperación activa” y de “alta intensidad” fue también mayor ($p<0.001$) que el empleado en las categorías de “recuperación pasiva” y de “máxima intensidad”.

La interacción de los factores categorías de esfuerzo y grupo de jueces alcanzó también un nivel significativo ($F_{4,112}=7,27$; $p<0.001$) con una potencia de la medida de 0,995 y un valor de ω^2 de 0,07. La representación gráfica del tiempo empleado en cada categoría de esfuerzo contribuye a profundizar en la caracterización de las demandas de cada grupo de jueces, de manera que los árbitros permanecieron más tiempo durante los partidos en esfuerzos por encima del 85% de la $FC_{\text{máx}}$,

mientras que los árbitros asistentes estuvieron más tiempo durante los partidos a intensidades que solicitaban menos del 85% de la $FC_{\text{máx}}$ (Figura 3.75).

La diferencia en el tiempo empleado por los jueces en la categoría de “recuperación activa” alcanzó un nivel significativo ($p < 0.01$) con un tamaño del efecto de 1,09. Del mismo modo, también se observaron diferencias significativas en las categorías de “alta intensidad” ($p < 0.01$) y de “máxima intensidad” ($p < 0.001$) aunque en este caso fueron los árbitros los que más tiempo adoptaron este tipo de esfuerzos, con un magnitud del efecto de 1,17 y 2,67, respectivamente.

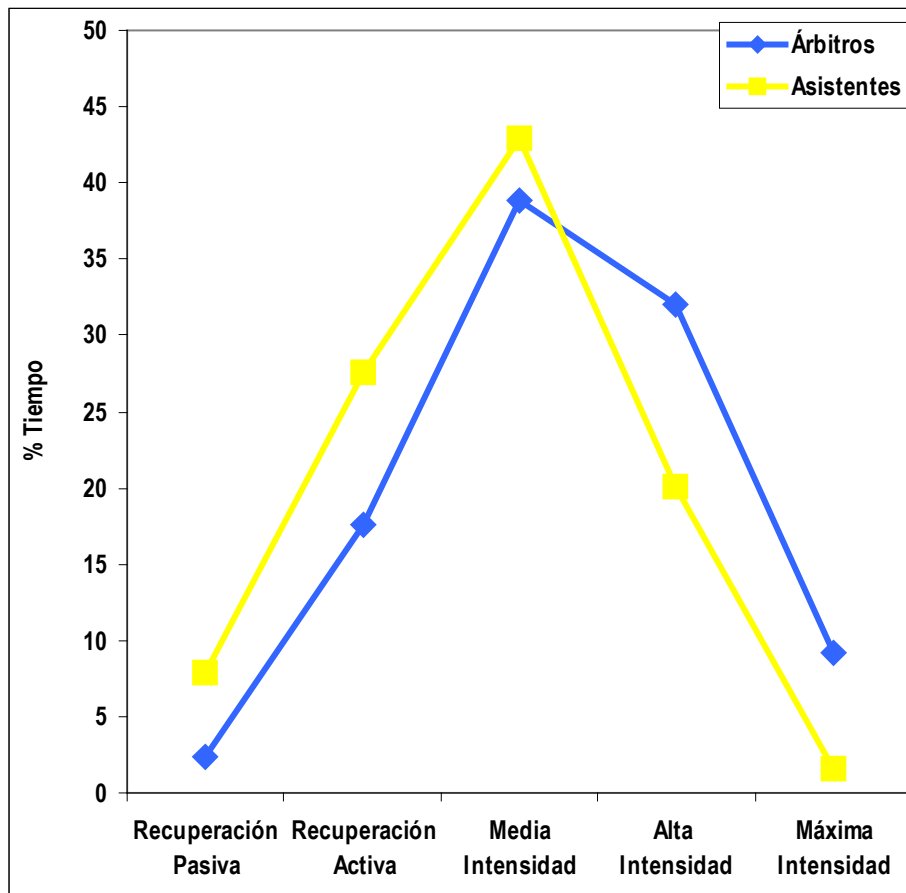


Figura 3.75 Comparación del tiempo empleado en distintos intervalos de pulsaciones relativas por los árbitros y árbitros asistentes durante los partidos.

3.2.6 Relaciones interindividuales entre los resultados de las pruebas de valoración de la condición física y el rendimiento en la competición

La distancia recorrida en la prueba de los 12 min por los árbitros no tuvo una correlación estadísticamente significativa con la distancia total recorrida durante los partidos ($r=0.23$; $p>0.05$; Figura 3.76).

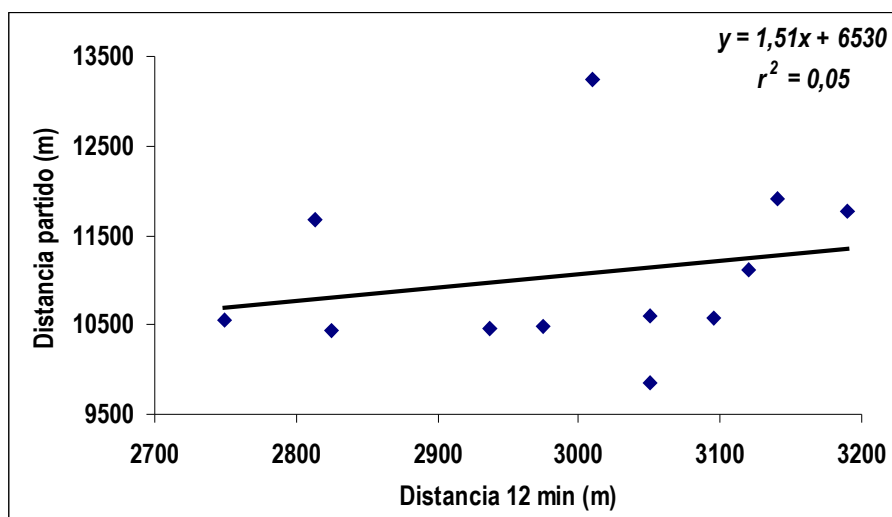


Figura 3.76 Relación entre la marca en la prueba de los 12 min y la distancia recorrida durante los partidos por los árbitros.

Sí existió una mayor correlación entre la distancia recorrida en esta prueba y el tiempo que los árbitros permanecían corriendo a una alta intensidad, es decir, con velocidades superiores a los 3,6 m/s ($r=0,54$; $p=0.068$; Figura 3.77) y con el tiempo que los árbitros sprintaban durante los encuentros ($r=0.56$; $p=0.058$). Las únicas relaciones significativas obtenidas entre la marca en esta prueba y el rendimiento de los árbitros en la competición se produjeron con el tiempo empleado en los

segundos tiempos de los partido sprintando ($r=0,58$; $p<0.05$) y el porcentaje de distancia trotando durante los partidos ($r=-0,71$; $p<0.01$).

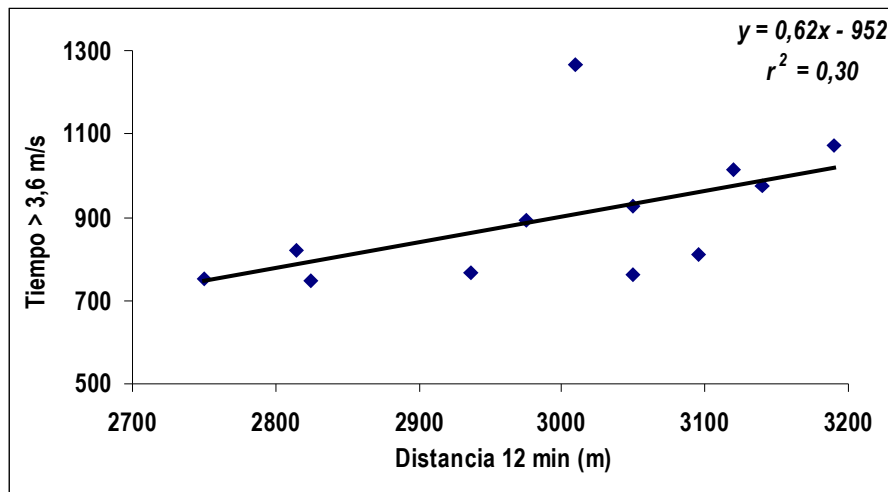


Figura 3.77 Relación entre la marca en la prueba de los 12 min y el tiempo que los árbitros estaban corriendo a velocidades superiores a 3,6 m/s en los partidos.

Los resultados de la prueba de los 12 min en los árbitros asistentes mostraban una discreta correlación ($r=0,24$; $p>0.05$; Figura 3.78) con la distancia recorrida durante los encuentros oficiales.

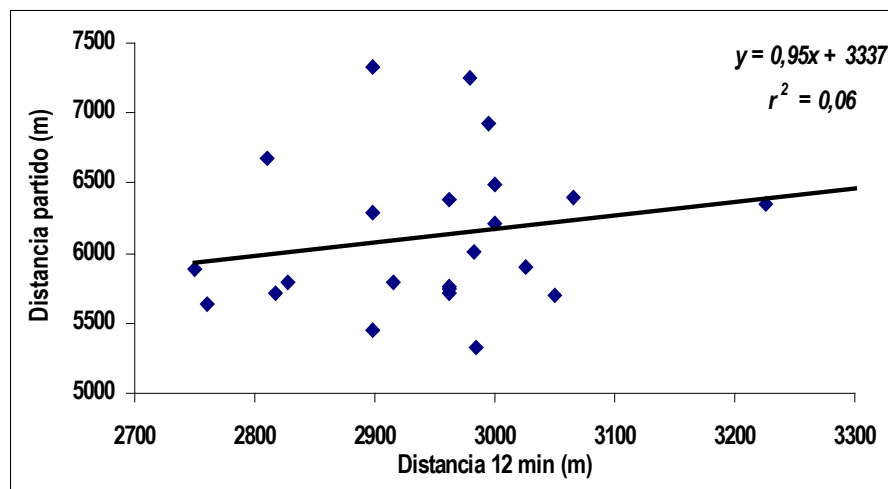


Figura 3.78 Relación entre la marca en la prueba de los 12 min y la distancia recorrida durante los partidos por los árbitros asistentes.

En comparación con la variable anterior, la distancia recorrida por los árbitros asistentes mostró una relación más elevada con ($r=0,35$; $p>0.05$; Figura 3.79) con el tiempo empleado en desplazamientos con velocidades mayores de 3,6 m/s. En cualquier caso, esta prueba únicamente mostró una relación estadísticamente significativa con la distancia recorrida ($r=0,48$; $p<0.05$) y el tiempo empleado ($r=0,49$; $p<0.05$) por los árbitros asistentes en esfuerzos a la máxima intensidad, es decir, sprintando.

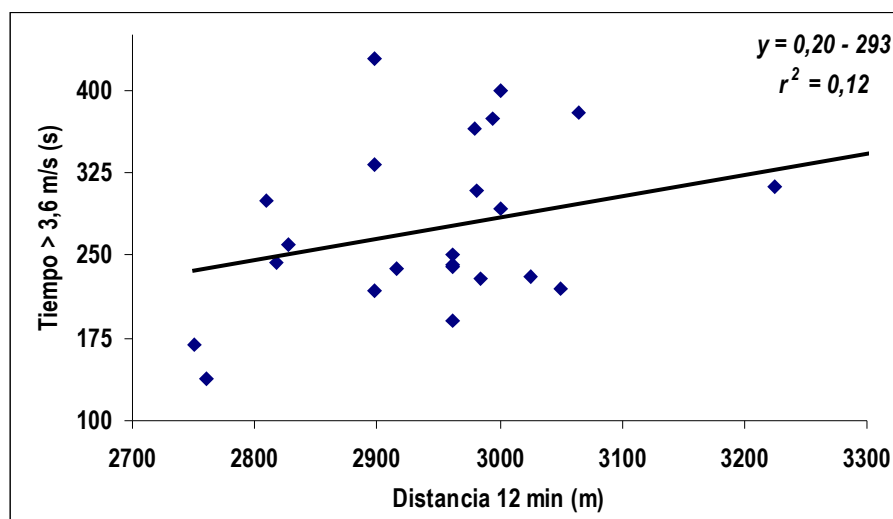


Figura 3.79 Relación entre la marca en la prueba de los 12 min y el tiempo que los árbitros asistentes estaban corriendo a velocidades superiores a 3,6 m/s en los partidos.

La prueba de carrera de 200 m, perteneciente únicamente a la batería de valoración de la condición física de los árbitros, no mostraba una relación significativa con la distancia total recorrida durante los encuentros ($r=-0,48$; $p>0.05$). La relación entre la marca en esta prueba y la cantidad de ejercicio de alta intensidad realizado era menor ($r=-0,23$; $p>0.05$; Figura 3.80) y algo superior la relación con el tiempo empleado sprintando durante los encuentros ($r=-0,48$; $p>0.05$).

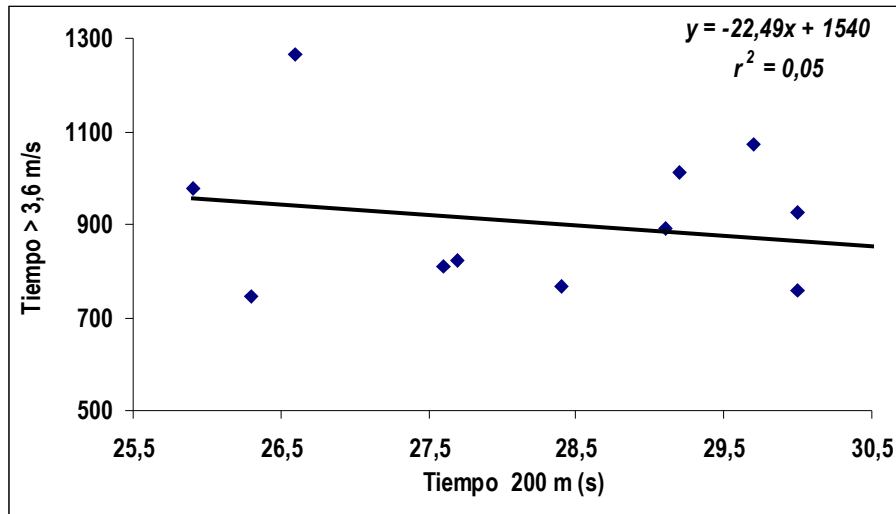


Figura 3.80 Relación entre la marca en la prueba de los 200 m y el tiempo empleado por los árbitros en ejercicio a una alta intensidad.

La marca obtenida por los árbitros en la prueba de 50 m no mostró ninguna relación significativa con la distancia ($r=-0,25$; $p>0.05$; Figura 3.81) y el tiempo ($r=-0,21$; $p>0.05$) empleado en esfuerzos a la máxima intensidad.

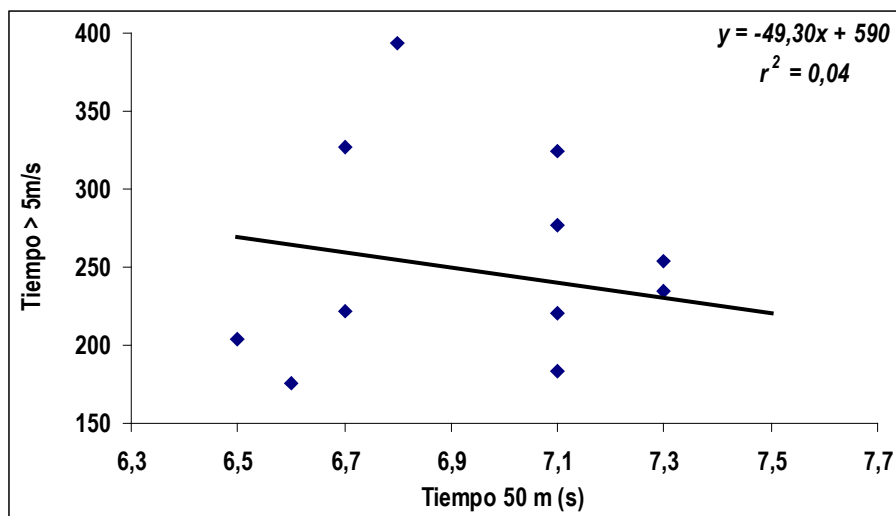


Figura 3.81 Relación entre la marca en la prueba de los 50 m y la distancia recorrida por los árbitros sprintando durante los encuentros.

En el caso de los árbitros asistentes no se encontraron relaciones significativas entre la marca en la prueba de los 50 m y la distancia recorrida a la máxima intensidad ($r=-0,38$; $p=0.069$) aunque sí con el tiempo empleado en esta categoría ($r=-0,41$; $p<0.05$; Figura 3.82).

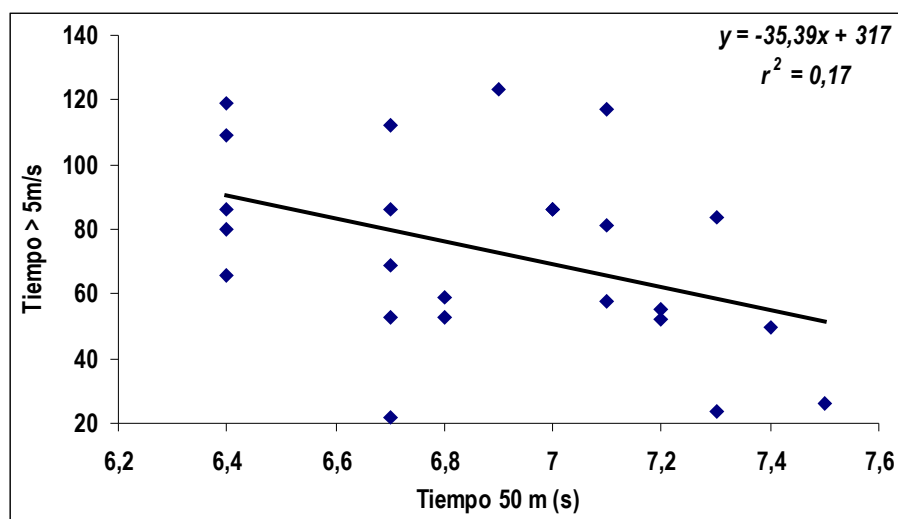


Figura 3.82 Relación entre la marca en la prueba de los 50 m y el tiempo empleado por los árbitros asistentes sprintando durante los encuentros

Capítulo 4.

DISCUSIÓN

4.1 Análisis de la participación en el juego

4.2. Respuesta fisiológica durante la competición

4.3 Valoración de la condición física



4.1 Análisis de la participación en el juego

El objetivo del presente trabajo de investigación ha sido profundizar en el conocimiento de las demandas que supone el arbitraje en el fútbol tanto desde el punto de vista de los árbitros como de los árbitros asistentes. La determinación del perfil de exigencia que la competición suscita en estos deportistas puede servir para el desarrollo de programas de entrenamiento más específicos a los requerimientos del juego y para el diseño de pruebas de valoración de la condición física relacionadas con el rendimiento en la competición. Con estas premisas el estudio actual partió como una vía de asesoramiento científico a la Comisión de Arbitraje de la FIFA en un intento por optimizar la preparación de los árbitros y de los árbitros asistentes para la alta competición.

La duración habitual de un partido de competición en el deporte de fútbol es de 90 min divididos en dos períodos de 45 min que se interrumpen con una fase de descanso de 15 min. El árbitro tiene la potestad de ampliar este tiempo reglamentado si estima que durante el desarrollo del encuentro ha habido incidencias que han repercutido en una disminución del tiempo de juego. En determinados torneos, en caso de empate, se disputa un tiempo suplementario – prórroga- que consta de dos tiempos de 15 min. De mantenerse la igualdad entre los equipos contendientes el desempate se resuelve mediante el lanzamiento de penaltys.

Los árbitros desempeñan un papel primordial en el desarrollo del deporte puesto que su función consiste en asegurar que se respetan y cumplen las Leyes de Juego. Debido a las considerables dimensiones de los campos de fútbol (la medida

habitual suele estar en torno a los 105 x 68 m) y para facilitarles su complicada labor los árbitros cuentan con el auxilio de dos árbitros asistentes que se sitúan siempre fuera del terreno de juego, desplazándose por la línea de banda sobre la mitad de la longitud del campo, en el mediocampo derecho del equipo que ataca. El objetivo final de los jueces es el ensalzar el juego para los jugadores y espectadores (FIFA, 1993).

El deporte del fútbol se caracteriza por ser una actividad intermitente con frecuentes episodios de ejercicio a una alta intensidad. La naturaleza de los desplazamientos es acíclica sin que exista necesariamente una secuencia en la sucesión de acontecimientos puesto que éstos son producto de la incertidumbre del desarrollo del propio juego.

Los árbitros y los árbitros asistentes deben ser capaces de dar respuesta a todas las exigencias físicas y técnicas que pueden acontecer en el transcurso de los partidos ya que la supervisión del juego les exige estar cerca del lugar en el que se disputa la pelota. Para estar capacitados para seguir el juego con una proximidad tal que les permita decidir con criterio en las situaciones de conflicto los jueces deben asociar al perfecto conocimiento de las reglas del juego y su adecuada interpretación, un nivel de condición física que les posibilite lograr la mejor ubicación para el seguimiento de los acontecimientos –sin obstaculizar el buen desarrollo del juego- al tiempo que les asegure el mantenimiento de la correcta posición a lo largo de todo el partido.

Los factores que inciden en las exigencias condicionales que deben poseer los árbitros son variados estando entre los mismos: la capacidad del árbitro para leer el juego, el estilo de juego de los equipos participantes, el nivel de rendimiento de los

equipos, el nivel condicional de los jugadores y las condiciones ambientales (Harley *et al.*, 2001b).

En general tanto los árbitros como los árbitros asistentes alcanzan su máximo rendimiento en una edad próxima a los 40 años. La FIFA establece los 44 años como el tope para poder tomar parte en las competiciones internacionales. Los árbitros y árbitros asistentes participantes en el presente Campeonato del Mundo sub-17 formaban parte de un llamado “grupo de talentos” de ahí que su edad media fuese de 33,4 y 34 años, respectivamente. Este grupo estaba siendo entrenado para participar en el Campeonato del Mundo del año 2010 momento en el que alcanzarían la edad óptima para lograr el máximo rendimiento en el arbitraje.

Esta edad tardía en la que los jueces alcanzan su máximo rendimiento en el arbitraje se debe al acúmulo de experiencias de los años pretéritos. En cualquier caso esta longevidad deportiva puede ir en contra de su plenitud física ya que deben seguir el ritmo de juego impuesto por los futbolistas que, de modo general, suelen ser más jóvenes, ligeros, rápidos y resistentes que los árbitros (Rontoyannis *et al.*, 1988). Por si esta inferioridad de condiciones no fuese suficiente Pizzi & Castagna (2002) recalcan que los árbitros tienen menor tiempo de recuperación durante el juego pues deben estar presentes en todas las acciones y en todos los lugares, deben mantener la atención durante todo el partido y, además, no pueden ser sustituidos.

Resulta sorprendente esta desigualdad a la hora de afrontar la competición por parte de los árbitros en relación a los futbolistas cuando las exigencias físicas parecen ser semejantes en ambas poblaciones de deportistas. Este hecho se acentúa aún más en el caso del fútbol profesional e incluso, en la actualidad, se

sigue cuestionando la profesionalización de los jueces mientras que la vida laboral de los futbolistas se centra exclusivamente en el propio deporte.

Los once árbitros analizados durante el trabajo actual de investigación tenían una estatura y una masa corporal superior ($p<0.05$) a la de los árbitros asistentes aunque no se observaron diferencias significativas en cuanto al índice de masa corporal entre ambos grupos de jueces (árbitros: 24,13 kg/m²; árbitros asistentes: 23,69 kg/m²). Al comparar los datos antropométricos con los de 2.085 futbolistas que participaron en las principales ligas de Alemania, España, Inglaterra e Italia (Bloomfield *et al.*, 2004) los valores de estatura y peso eran similares aunque el índice de masa corporal de los futbolistas de las cuatro ligas era ligeramente inferior (22,98 kg/m²) al de los jueces que componían la presente investigación.

La manera tradicional de caracterizar las demandas físicas que entrañan los deportes de equipo ha sido recurrir al cómputo de la distancia total recorrida por los deportistas durante los partidos, ya que supone una vía para estimar el gasto energético que representa la actividad (Reilly & Thomas, 1976). Los árbitros analizados durante el presente trabajo de investigación recorrieron una distancia media durante los partidos de 11.059 m con un rango en los resultados que va desde los 10 a los 13 km.

Respetando la dificultad que supone la comparación entre los resultados obtenidos en estudios que han empleado técnicas instrumentales distintas los valores

obtenidos en esta investigación son similares a los publicados en otros trabajos tanto con muestras de árbitros (D'Ottavio & Castagna, 2001a,b; Castagna & D'Ottavio, 2001; Castagna *et al.*, 2002a; Castagna & Abt, 2003; Castagna *et al.*, 2004a) como de futbolistas (Van Gool *et al.*, 1988; Ohashi *et al.*, 1988; Bangsbo *et al.*, 1991; Bangsbo & Lindquist, 1992; Mohr *et al.*, 2003).

La distancia que los árbitros recorrían durante los encuentros mostraba una relación positiva ($r=0.77$; $p<0.01$) con el tiempo real de juego durante los partidos. Éste representa las acciones en las cuales el balón está siendo disputado por los futbolistas, es decir, no tiene en consideración las interrupciones acontecidas durante el partido.

Durante el campeonato sub-17 el tiempo real de juego durante los partidos analizados tuvo un valor medio del 48 min, lo que suponía un 53,5% del tiempo total de juego. Este valor se circunscribe entre los 45,4 min (47,8%) de juego real registrados durante los partidos del campeonato nacional español en la temporada 1998-1999 (Gómez López, 1999) y los 51 min (56,1%) calculados en partidos internacionales por Miyamura *et al.* (1997), aunque resulta ligeramente inferior a los registrados durante los Campeonatos del Mundo de Italia 1990, Estados Unidos 1994, Francia 1998 y Japón y Corea 2002, en los que el tiempo real de juego osciló entre el 57 y 66% del total (Ito *et al.*, 2004).

Una de las posibles causas que pueden contribuir a explicar el menor porcentaje de tiempo de juego real en el presente campeonato en relación a los de categoría absoluta podría ser el número de sustituciones permitidas a los equipos. Mientras que en categorías inferiores se pueden realizar hasta un total de cuatro sustituciones por equipo, en categoría absoluta sólo se pueden realizar tres. Al

cifrar Ito *et al.* (2004) en 40,6 s el tiempo medio necesario para efectuar una sustitución durante los Mundiales de 1990 a 2002, cuanto mayor sea el número de sustituciones por partido menor será el tiempo real de juego.

Adicionalmente, con el fin de evitar la pérdida innecesaria de tiempo durante los partidos por parte de los jugadores, la FIFA ha ido introduciendo nuevas consideraciones en las Reglas del Juego para agilizar su desarrollo. Algunas de estas medidas adoptadas para avivar el ritmo del partido han sido: la restricción del lugar en el cual se puede realizar el saque de meta (1992), sacar a los jugadores lesionados en camilla (1994), la introducción de recoge-pelotas que pueden devolver los balones rápidamente al campo (1996), acelerar el tiempo empleado en las sustituciones (1996), restringir los pases al portero –cesión- tanto con el pie (1992) como con la mano tras saque de banda (1996). De todas estas reglas Ito *et al.* (2004) concluyen que aquéllas que conciernen a los porteros se han mostrado como las más efectivas a la hora de aumentar el tiempo real de juego durante los últimos cuatro Mundiales de categoría absoluta. Es posible que en un Mundial de categoría juvenil fuese complicado llevar a cabo todas ellas de manera conjunta lo que podría haber redundado en un menor porcentaje de tiempo real de juego durante los encuentros.

El papel de los árbitros asistentes durante el juego está orientado a prestar un asesoramiento a los árbitros, estando su campo de actuación limitado a la mitad de la longitud del campo, siempre por la banda derecha del equipo atacante. Este factor incide en que la distancia media que recorrieron los árbitros asistentes durante los 12 partidos del campeonato analizados fuese de 6.137 m. Este valor es ligeramente inferior a los 7,3 km registrados por Krustup *et al.*, (2002 y 2004a) en

sus estudios aunque la distinta metodología empleada en la investigación actual pueda haber sido la causa de la diferencia.

Los dos árbitros asistentes que participan en un mismo partido deben establecer una relación de colaboración con el árbitro estando su actuación alternada según la zona del terreno en que se desarrolla el juego en cada instante del partido. Puesto que los desplazamientos quedan restringidos a la mitad del campo la distancia que recorrieron durante los partidos analizados representaba aproximadamente el 55% de la distancia total recorrida por el árbitro. De esta manera, la suma de la distancia recorrida por los dos árbitros asistentes era superior ($p < 0.001$) a la completada por el árbitro del mismo partido.

El carácter alternativo del juego induce también a que las acciones no se distribuyan necesariamente de una manera homogénea en las dos mitades del campo sino que puede haber un mayor predominio atacante de uno de los dos equipos. Este factor repercute en unas mayores exigencias cinemáticas para el árbitro asistente encargado de controlar ese medio campo en detrimento de su compañero que tiene una actividad menor. El coeficiente de variación de la distancia recorrida por los dos árbitros asistentes participantes en un mismo partido (sobre un total de 12 observaciones) fue del 7,1% con un valor medio de 622 m, coeficiente inferior al 17% obtenido por Krustup *et al.* (2002) al analizar a los dos árbitros asistentes que tomaron parte en ocho partidos.

Según los datos obtenidos las demandas cinemáticas —en cuanto a la distancia total recorrida— que experimentan los árbitros durante los partidos de competición son similares a las experimentadas por los futbolistas del máximo nivel (Mohr, *et al.*, 2003) y superan ampliamente las exigencias que deben soportar los árbitros

asistentes. En cualquier caso, resulta necesario hacer referencia a una serie de consideraciones para facilitar la utilización de la distancia total recorrida como parámetro indicativo de las exigencias del juego.

En primer lugar, la técnica experimental empleada en cada trabajo de investigación tiene una influencia determinante en los resultados obtenidos, de ahí que se torne compleja la comparación de estudios entre sí que han utilizado metodologías variadas. De los distintos trabajos publicados en la bibliografía internacional los llevados a cabo por D'Ottavio & Castagna (2001b), que analizaron la respuesta cinemática de los árbitros sobre un total de 96 partidos de la máxima categoría del campeonato de liga italiano entre las temporadas 1992/93 y 1995/96 utilizando potenciómetros, son los que presentan unos valores más semejantes a los obtenidos en la presente investigación, con una distancia media recorrida por los árbitros de 11.469 m. Los trabajos que han empleado otro tipo de procedimientos, bien basados en el cálculo de distancias a partir del calcado de los movimientos (Asami *et al.*, 1988; Johnston & McNaughton, 1994), en el cómputo de la frecuencia de zancada y su multiplicación por la longitud media de las mismas (Catterall *et al.*, 1993; Harley *et al.*, 2001b) o bien mediante análisis temporales de la actividad (Krustrup & Bangsbo, 2001; Carvahlo *et al.* 2004a, Bangsbo *et al.*, 2004b), han presentado unas distancias totales inferiores a las registradas en el estudio actual.

Además de las diferentes técnicas experimentales empleadas para la adquisición y el procesamiento de los datos, otro factor que puede incidir en la heterogeneidad de los resultados es la variabilidad intra-individual que existe en el comportamiento de un árbitro o futbolista a lo largo de distintos partidos, lo que puede provocar que un deportista recorra distancias diferentes según las circunstancias de cada encuentro. Para estudiar la influencia de este factor Castagna & Abt (2003) analizaron a

catorce árbitros durante 65 partidos de la “Serie A” italiana. Cada árbitro fue observado un mínimo de tres y un máximo de seis ocasiones, registrándose la máxima y mínima distancia recorrida durante los partidos. Estos autores encontraron que la distancia total recorrida en partidos sucesivos podía variar hasta un 11% debiéndose la diferencia prioritariamente a la cantidad de ejercicio de baja y media intensidad realizado, puesto que la distancia recorrida a una elevada intensidad permanecía relativamente constante a lo largo de los partidos. De igual modo, Krustup & Bangsbo (2001) cifraron en 0,54 km la diferencia en la distancia total recorrida al analizar a un mismo árbitro ($n=8$) en dos ocasiones separadas en el intervalo de un mes, siendo el coeficiente de variación de la distancia total recorrida del 4%. En el caso de los árbitros asistentes la diferencia en la distancia recorrida por un mismo árbitro asistente ($n=7$) en dos partidos diferentes tuvo un valor medio de 0,49 km, con un coeficiente de variación del 9% (Krustup *et al.*, 2002).

En la investigación actual un mismo trío arbitral fue analizado en dos partidos diferentes de la primera fase de la competición. El coeficiente de variación de la distancia recorrida por el árbitro en los dos partidos fue del 7,42% mientras que para cada uno de los dos árbitros asistentes fue del 0,96% y 4,27%, respectivamente.

La variabilidad en el comportamiento motriz –en cuanto a la distancia total recorrida- también ha sido estudiada en los futbolistas de manera que Ekblom (1986) encontró una variación intra-individual al analizar a un mismo jugador en 5-6 partidos sucesivos de 0,5 a 0,9 km (5,21-8,11%), Bangsbo *et al.* (1991) de 0,92 km (8,5%) y, más recientemente, Mohr *et al.* (2003) determinaron un coeficiente de variación en la distancia total recorrida del 3,1% (-0,69 a 0,82 km) al comparar los

resultados obtenidos por dieciocho futbolistas analizados en dos partidos consecutivos durante un período de 3 semanas. Los mismos autores encontraron que los futbolistas recorrían una distancia significativamente mayor al final de la temporada que durante la parte inicial y central de la misma.

Otro factor que puede incidir en la distancia total recorrida por los deportistas durante el juego es el nivel de la competición. En el caso de los árbitros, al comparar la distancia total recorrida por árbitros de distinto nivel –internacionales y japoneses-, Asami *et al.* (1988) encontraron que, aunque los árbitros internacionales recorrían más metros durante los encuentros, las diferencias no eran significativas. Tampoco hubo diferencias significativas al comparar la distancia total recorrida por árbitros portugueses profesionales y amateurs (Carvahlo *et al.*, 2004) ni por árbitros daneses de la “Superliga” y de la primera división (Krustrup & Bangsbo, 2001). Por el contrario, Castagna *et al.* (2004a) sí pudieron registrar una mayor distancia recorrida por los árbitros italianos durante partidos de la “Serie A” de este país en relación a árbitros de diversas nacionalidades europeas que participaban en competiciones organizadas por la UEFA

En el caso de los árbitros asistentes sí parece existir una influencia del nivel de la competición sobre la prestación deportiva o al menos, así sucedía con los jueces participantes en los partidos de fútbol femenino y de la tercera división masculina, que recorrían una menor distancia que los de la primera división de Dinamarca (Krustrup *et al.*, datos sin publicar en Krustrup *et al.*, 2002).

En el estudio sobre la influencia del nivel de la competición en los futbolistas los datos que se han obtenido son contradictorios. Inicialmente Whitehead (1975) (en Tumilty, 1993) encontró que la distancia total recorrida durante los encuentros era

superior en los futbolistas de menor nivel, conclusión no contrastada en estudios posteriores. Ekblom (1986) comparó el rendimiento de jugadores de la primera a la cuarta división sueca sin encontrar diferencias significativas en cuanto a la distancia total recorrida. En un estudio más reciente Mohr *et al.* (2003) sí encontraron una mayor distancia total recorrida por futbolistas de alto nivel (jugadores italianos que participan en la Liga de Campeones) al compararlos con futbolistas de menor nivel (jugadores daneses de la primera división de su país).

El factor de la edad cronológica no parece ser que influya en la distancia total recorrida por los árbitros (Bangsbo *et al.*, 2004b) aunque sí en los árbitros asistentes (Krustrup *et al.*, 2004a). En ambos trabajos dividieron a los sujetos en grupos atendiendo a su edad y no encontraron diferencias en cuanto a la distancia total recorrida entre los árbitros jóvenes y los más mayores aunque sí lo hicieron en el caso de los árbitros asistentes. Tratándose de los futbolistas también se ha observado que los de categoría senior tienden a recorrer más metros durante los partidos que los de edad juvenil: 8173 frente a 6718 m (Sánchez Gallego, 1976).

La fatiga es otro factor que puede incidir en la distancia total recorrida, en especial en cómo se distribuye la misma a lo largo del tiempo. Ésta se puede definir como “la imposibilidad de generar una fuerza requerida o esperada, producida o no por un ejercicio precedente” (Terrados & Fernández, 2001). McLester (1997) afirma que la fatiga se caracteriza por la disminución en la habilidad de un músculo para generar una fuerza/momento (torque) y es reversible con el reposo. En el ámbito del presente trabajo vendría reflejada por una disminución de la distancia recorrida o por la alteración del ratio de trabajo al aproximarse la finalización de los partidos.

Al comparar la distancia recorrida por los árbitros durante el primer y segundo tiempo de los partidos se pudo observar una disminución del 5,95%, pasando de 5699 a 5360 m (tamaño del efecto: 0,69). Esta disminución de la distancia recorrida en el segundo tiempo en relación con el primero también ha sido constatada en otros estudios tanto con árbitros (Catterall *et al.*, 1993; Johnston & McNaughton, 1994; Castagna & D'Ottavio, 2001; Harley *et al.*, 2001b; D'Ottavio & Castagna, 2001b; Castagna, *et al.*, 2002a) como con futbolistas (Saltin, 1973; Reilly & Thomas, 1976; Withers *et al.*, 1982; Ekblom, 1986; Van Gool *et al.*, 1988; Bangsbo *et al.*, 1991; Pirnay *et al.*, 1993; Mohr *et al.*, 2003). En cualquier caso también existen estudios realizados con árbitros (Brodie, 1981; Asami *et al.*, 1988; Krusturp & Bangsbo, 2001; D'Ottavio & Castagna, 2001a) en los que la distancia global no se vio reducida tras el intermedio.

Los árbitros asistentes también mostraron una disminución de la distancia recorrida en los segundos períodos con un descenso del 6,95% (de 3197 a 2958 m; tamaño del efecto: 0,70). De igual modo Krusturp *et al.* (2002) observaron en su estudio cómo los árbitros asistentes recorrían menos distancia tras el intermedio.

El análisis de los distintos períodos de juego establecidos en la presente investigación permitió observar cómo durante los primeros 15 min de los partidos los árbitros y los árbitros asistentes recorrían la máxima distancia, alcanzándose los mayores picos entre los minutos 6 y 10 de los partidos. Por el contrario en los segundos 45 min la distancia recorrida era menor y los parciales de 15 min en los que se dividía esta segunda parte mostraban una disminución significativa con el cuarto de hora inicial del partido, tanto en el caso de los árbitros como de los árbitros asistentes. D'Ottavio & Castagna (2001a,b) han reflejado también esta mayor actividad de los árbitros en los 15 min iniciales en relación al último cuarto de

hora de cada período y también en relación a los 15 min que sucedían al descanso (D'Ottavio & Castagna, 2001b).

El logro de las máximas distancias en el cuarto de hora inicial de los partidos podría deberse principalmente al hecho de que el deportista afronta la competición desde una situación óptima tanto a nivel psicológico (elevada motivación, ganas de competir, atención al juego, etc.) como fisiológico (recuperación de esfuerzos anteriores, depósitos energéticos completos, etc.). El hecho de que la máxima distancia recorrida se lograra entre los minutos 6 y 10 de los partidos podría deberse a la estructura de la competición. Antes de iniciar los partidos los deportistas realizaban el preceptivo calentamiento para entrar, a continuación, en los vestuarios (20 min antes de la hora fijada para el comienzo del partido) y previo al saque inicial debía seguirse un estricto protocolo (presentación del encuentro interpretación de los himnos nacionales, sorteo de los campos, etc.). Por todo lo anterior quizás este período post-calentamiento fuese excesivamente largo y la temperatura muscular disminuyese motivo por el cual en los 5 primeros minutos del partido se volvería a alcanzar un estado óptimo para lograr los máximos picos de distancia recorrida entre los minutos 6 y 10. Bangsbo (1994b) afirma que a la conclusión de un ejercicio la temperatura vuelve a sus valores basales después de aproximadamente 15 min de inactividad, por lo que recomienda la realización de ejercicios suaves para recuperar la temperatura muscular antes del saque inicial y antes del inicio del segundo tiempo.

Una de las causas que contribuyesen a explicar la disminución de la distancia recorrida en los segundos tiempos de los partidos podría ser el desarrollo de la fatiga. Por las características fisiológicas del ejercicio realizado un motivo que podría dar lugar a la aparición de fatiga podría ser el agotamiento prematuro de las

reservas de glucógeno muscular. En este sentido diversos estudios han constatado cómo la cantidad de glucógeno muscular disminuye durante los partidos de fútbol (Karlsson, 1969, en Ekblom, 1986; Jacobs *et al.*, 1982) plasmándose esta disminución de las reservas en una menor distancia recorrida durante los segundos tiempos de los partidos (Saltin, 1973; Jacobs *et al.*, 1982). Saltin (1973) demostró como los futbolistas que partían con unas concentraciones de glucógeno mayores experimentaban una pérdida de rendimiento menor en los segundos tiempos de los partidos y recorrían una distancia en torno al 20% superior que los que partían con concentraciones de glucógeno inferiores (96 frente a 45 mmol/kg).

Otro factor que podría explicar esta disminución en los segundos períodos y que puede estar estrechamente ligado a la noción anterior es la disminución del ritmo de juego en las segundas partes de los partidos (Bangsbo, 1994b). El ritmo de juego puede verse negativamente afectado bien porque los jugadores tienen menores reservas de glucógeno y son incapaces de mantener la realización de esfuerzos a alta intensidad (Saltin, 1973; Jacobs *et al.*, 1982) o bien porque hay un mayor número de interrupciones en el juego. Como la distancia recorrida por los árbitros se veía afectada por el tiempo real de juego al aumentar las pausas en el juego disminuiría la distancia recorrida. Shiokawa *et al.* (2004) comprobaron cómo durante un partido internacional la pelota recorría durante el primer tiempo 17,1 km mientras que el segundo únicamente lograba 14,89 km lo que podría representar otro parámetro que ayudase a manifestar la disminución de la intensidad global del esfuerzo tras el descanso.

Utilizando únicamente la distancia recorrida por los deportistas resulta complicado establecer un motivo aislado para justificar la disminución de la actividad motriz en los segundos 45 min. Las causas principales de este decremento podrían ser: el

aumento de las interrupciones (mayor número de sustituciones e infracciones), el descenso en las prestaciones de los futbolistas o el desarrollo de fatiga por parte de los jueces. Para reafirmar esta última conclusión resulta necesario atender al comportamiento de otra serie de variables a lo largo del juego.

En relación a otros factores que podrían ser inductores de la fatiga en la realización de un ejercicio intermitente de larga duración como el fútbol Mohr *et al.* (2004c) concluyeron que la temperatura corporal no parece ser un factor decisivo en su desarrollo en los instantes finales del juego al comprobar cómo al concluir los partidos disminuía el rendimiento en una prueba de sprints sucesivos sin que hubiese una disminución concomitante de la temperatura corporal.

Aunque la distancia recorrida por los jueces durante la competición puede servir como dato orientativo sobre la prestación de los deportistas no debe constituir por sí sola un elemento que caracterice la participación cinemática en los partidos. Para completar el estudio resulta necesario profundizar en el estudio de la actividad realizada atendiendo a la naturaleza intermitente de los movimientos ya que conocer el tiempo empleado en cada tipo de desplazamiento puede ser más útil para los entrenadores que conocer la distancia total recorrida durante un partido (Ali & Farrally, 1991a). Es por ello que deba prestarse especial atención a cómo se distribuye la distancia recorrida en función de la intensidad a la que se realizan los desplazamientos y al sentido de locomoción empleado durante los mismos.

Como término medio los árbitros analizados en el presente trabajo de investigación recorrían aproximadamente un tercio de la distancia total, en concreto un 30%, en forma de desplazamientos a una intensidad baja (con una velocidad instantánea inferior a los 2 m/s), otro tercio –33%- a una intensidad media (entre 2 y 3,6 m/s) y el tercio restante –37%- a una alta intensidad (por encima de los 3,6 m/s). Resulta complicada la comparación de estos datos con estudios similares publicados en la bibliografía internacional puesto que por un lado los métodos empleados han sido distintos y, además, se han utilizado distintos intervalos de velocidades para categorizar los desplazamientos.

En cualquier caso los datos obtenidos resultan ser bastante similares a los aportados por el grupo de investigación Italiano (D'Ottavio & Castagna, 2001a,b; Castagna & D'Ottavio, 2001; Castagna *et al.*, 2002a; Castagna *et al.*, 2004a) que hacen referencia a que los árbitros recorren aproximadamente el 60% de la distancia en forma de desplazamientos a una baja y media intensidad (por debajo de 3,6 m/s) mientras que el restante 40% a una elevada intensidad. Krustup & Bangsbo (2001) también muestran unos resultados semejantes aunque con una menor intensidad relativa de los esfuerzos. En su estudio con árbitros daneses el 66% de la distancia se recorría a una velocidad por debajo de los 3,3 m/s y el 34% restante a una velocidad superior.

El tiempo en el que el árbitro permanecía parado (o con movimientos cuya velocidad era inferior a 1 m/s) representa aproximadamente una cuarta parte del partido -26%-, valor similar al registrado por Krustup & Bangsbo (2001) y ligeramente superior a los porcentajes del 14-17% obtenidos por D'Ottavio & Castagna (2001a,b), Castagna & D'Ottavio (2001) y Castagna *et al.*, (2002a)

aunque estos autores no indican el intervalo de velocidades que delimitaban la categoría “estar parado”.

En el presente estudio se observó una relación inversa ($r=-0,91$; $p<0.01$) entre el tiempo en el que el árbitro estaba desplazándose a velocidades inferiores a 1 m/s durante los partidos y la distancia total recorrida, al igual que previamente habían constatado Castagna & Abt (2003). Estos autores mostraron cómo los árbitros permanecían hasta un 44% menos de tiempo parados y corrían una distancia un 10% inferior a velocidades bajas en los partidos en los que completaban una distancia mayor en relación a los encuentros en los que la distancia total recorrida era inferior. Esta relación vendría a demostrar en la práctica que en los partidos donde se cubría una mayor distancia los árbitros permanecían menos tiempo parados.

El perfil de actividad de los árbitros asistentes ofrece una representación diferente puesto que prácticamente el 50% de la distancia se recorría a una baja intensidad, un 30% a una intensidad media y el 20% restante a una intensidad elevada. La distribución de los esfuerzos obtenida en el presente trabajo resulta similar a la publicada por Krstrup *et al.* (2002) en cuyo trabajo los árbitros asistentes recorrían a velocidades inferiores a 3,33 m/s un 84% de la distancia mientras que el 16% restante se recorría a una alta intensidad.

En relación al tiempo total de juego las acciones realizadas a una baja intensidad (estar parado y andar) abarcaban el 81% del partido mientras que las acciones a intensidad media (trota) ocupaban un 14% y el restante 5% las acciones a alta intensidad. Estos valores resultan también similares a los registrados por Krstrup

et al., (2002) que afirmaban que el tiempo en que los árbitros asistentes permanecían parados o andando ocupaba el 77% de los partidos.

Además de hacer referencia a la distribución de los esfuerzos por intensidades, para completar el patrón motriz de los jueces resulta necesario considerar el sentido de los movimientos. El modo de locomoción de espalda es importante porque permite a los árbitros adoptar una posición adecuada para tener siempre una visión frontal del desarrollo del juego. Este tipo de desplazamiento exige una mayor demanda energética que la carrera de frente a velocidades de 5, 7 y 9 km/h (Reilly & Bowen, 1984). Los estudios realizados por estos autores británicos les permitió concluir que la carrera de espalda a una velocidad de 9 km/h podría requerir hasta un 41% más de gasto energético que la carrera de frente a la misma velocidad.

En el caso de los árbitros el 15% de la distancia total se recorrió en forma de carrera de espalda. Este porcentaje de desplazamientos de espalda es similar al publicado por Catterall *et al.* (1993), Johnston & McNaughton (1994) o D'Ottavio & Castagna (2001a) aunque supera ligeramente al indicado en otros trabajos de investigación (Krustrup & Bangsbo, 2001; Castagna & D'Ottavio, 2001; D'Ottavio & Castagna, 2001b; Castagna *et al.*, 2002a; Castagna *et al.*, 2004a).

Los desplazamientos en forma de carrera lateral tienen una gran importancia para los árbitros asistentes puesto que les permite adoptar la mejor perspectiva para la observación del juego. Esto hace que la mayor parte del tiempo en el que los árbitros asistentes están parados o desplazándose a una baja velocidad lo hagan en forma de carrera lateral, manteniendo una alineación perpendicular al sentido de ataque de los equipos ya que así consiguen una visión frontal de la línea del fuera

de juego. Por el contrario, las acciones realizadas a alta velocidad son realizadas en forma de desplazamiento frontal.

Durante los partidos analizados del presente campeonato los árbitros asistentes recorrieron el 32% de la distancia en forma de desplazamiento lateral, dato que excede cuantiosamente al 16% reflejado por Krustup *et al.* (2002). Posiblemente el distinto criterio empleado para definir esta categoría de desplazamientos y la diferente técnica experimental empleada contribuya a explicar las divergencias entre ambas observaciones. La carrera lateral a velocidades de 5 y 9 km/h puede suponer un gasto energético entre el 26 y 40% mayor, respectivamente, que los desplazamientos frontales (Reilly & Bowen, 1984).

Al igual que sucedía al considerar la distancia total recorrida durante los encuentros, a la hora de analizar la distribución de los esfuerzos por intensidades existe unos factores que de una u otra manera pueden incidir sobre los resultados. Los más notables –ya reseñados con anterioridad- son los relativos a las distintas metodologías empleadas en cada investigación y los diferentes criterios empleados para denominar cada categoría, aunque también resulta necesario considerar otra serie de factores adicionales que pueden incidir en los resultados.

Diversos estudios publicados en la literatura internacional han tratado de analizar la estabilidad del comportamiento motriz de los deportistas a lo largo de sucesivos partidos. Al analizar a un mismo árbitro ($n=8$) en dos ocasiones separadas, Krustup & Bangsbo (2001) encontraron una variabilidad de los resultados obtenidos (expresados en forma de coeficiente de variación de las medias) del 5% para la categoría de andar, del 8% para la carrera realizada a una baja intensidad y del 7% para la carrera de espalda. Castagna & Abt (2003) estudiaron la variabilidad intra-

individual de la conducta motriz de árbitros de élite comparando los valores obtenidos en función de la distancia máxima recorrida sobre una muestra de tres a seis partidos para cada árbitro. Estos autores concluyeron, como se reseñó con anterioridad, que en los partidos donde la distancia recorrida era superior el logro se debía principalmente a los desplazamientos realizados a una intensidad sub-máxima. En cuanto a los desplazamientos en forma de carrera lateral y de espalda (con mayores requerimientos energéticos) éstos no variaban entre partidos (Castagna & Abt, 2003).

La variabilidad de los desplazamientos de los árbitros asistentes resulta ser mayor (Krustrup *et al.*, 2002) puesto que los coeficientes de variación que estos autores obtuvieron para las categorías de andar, carrera a baja intensidad y carrera lateral fueron del 13, 17 y 25%, respectivamente. En el caso de los futbolistas, tras analizar a un jugador internacional de élite en seis ocasiones durante partidos de liga en Japón, Miyagi *et al.* (1999) concluyeron que las características motrices de los futbolistas tienen una relativa baja variabilidad entre distintos encuentros.

La comparación de distintas muestras de árbitros de alto nivel entre sí, como en el caso de los árbitros italianos de la máxima categoría ("Serie A") y árbitros internacionales, no ha permitido constatar diferencias en la distribución de los esfuerzos, a excepción de que los árbitros internacionales andaban más de frente y de espalda que los italianos (Castagna *et al.*, 2004a). De un modo prácticamente idéntico Rienzi *et al.* (2000) determinaron que la única diferencia significativa en el comportamiento motriz de los futbolistas ingleses de la máxima categoría ("Premier League") y los internacionales sudamericanos venía propiciada porque los futbolistas ingleses andaban más tiempo de espalda que los sudamericanos. También los jugadores italianos del máximo nivel empleaban más tiempo en

desplazamientos de espalda que los jugadores daneses (Mohr *et al.*, 2003). En cualquier caso parece reconocido que al aumentar el nivel competitivo del juego aumenta también la frecuencia y la duración de los períodos de ejercicio a alta intensidad (Ekblom, 1986; Mohr *et al.*, 2003).

Sobre la distribución de los esfuerzos y su relación con la fatiga, durante los segundos tiempos de los partidos, los árbitros permanecían más tiempo parados (tamaño del efecto: 0,49) a la vez que disminuían la distancia recorrida en forma de desplazamientos corriendo (0,87) y sprintando (0,38) en comparación con los valores registrados en los primeros 45 min de juego. Esta alteración en la distribución de los esfuerzos vendría a reforzar la idea de la aparición de fatiga ya que representa una disminución en su ratio conforme transcurren los partidos. D'Ottavio & Castagna (2001b) y Castagna *et al.* (2002a) han constatado también el hecho de que los árbitros permanecen más tiempo parados y recorren más distancia andando (D'Ottavio & Castagna, 2001b) en los segundos tiempos de los encuentros que durante los primeros períodos. Del mismo modo en los estudios llevados a cabo por D'Ottavio & Castagna (2001b) y Krstrup & Bangsbo (2001) también se manifestó una disminución de la distancia recorrida a una intensidad media y elevada tras el descanso.

Igualmente los desplazamientos realizados en forma de carrera de espalda ofrecen una variación entre períodos. La disminución de este parámetro en la segunda mitad de los partidos (tamaño del efecto: 1,70) también podría estar relacionada con la aparición de fatiga puesto que, al haberse demostrado que la carrera de espalda comporta un mayor gasto energético que la carrera de frente (Reilly & Bowen, 1984), los árbitros reducirían los desplazamientos de espalda con el objetivo de economizar energía para llegar en un estado óptimo a los instantes

finales de los partidos. El decremento en la distancia recorrida de espalda ha sido corroborada por otros autores (Castagna & D'Ottavio, 2001; D'Ottavio & Castagna, 2001a,b; Krusturup & Bangsbo, 2001) habiendo determinado Bangsbo *et al.* (2004b) que los árbitros de mayor edad recorrían una menor distancia de espalda durante los encuentros que los árbitros de edad media.

La combinación de todos estos factores (el descenso de las distancias corriendo, sprintando y de espalda, y el incremento del tiempo en que el árbitro está parado en los segundos tiempos) reforzaría el desarrollo de estrategias propias de arbitraje a lo largo de los años. De hecho, parece demostrado que los árbitros disminuyen las carreras "inútiles" en los finales de partido, para poder rendir a la máxima intensidad cuando el juego alcanza su desenlace (Abt *et al.*, 1999 y Grehaigne 1999; ambos en D'Ottavio & Castagna, 2001b). Es en este tramo del partido donde los equipos logran anotar más goles (Reilly, 1996a), posiblemente debido a que el equipo que va por debajo en el marcador asume más riesgos, cambiando la táctica en los minutos finales, además de por la existencia de mayor número de fallos de concentración por el desarrollo de la fatiga a nivel mental (Reilly, 1997).

En cuanto a la división del partido en intervalos de tiempo más reducidos D'Ottavio & Castagna (2001b) encontraron que durante los primeros 15 min de los partidos los árbitros estaban menos tiempo parados que durante los minutos 31-45, 46-60 y 76-90 y recorrían una mayor cantidad de distancia a una intensidad media entre los minutos 0-15 que en el resto del partido. Además, en los primeros 15 min realizaban mayor cantidad de carrera a intensidad media y más desplazamientos en forma de carrera lateral y de espalda que en los otros intervalos de tiempo (D'Ottavio & Castagna, 2001a,b). Krusturup & Bangsbo (2001) también concluyen en su estudio que los árbitros recorren más distancia en forma de carrera de espalda

en los minutos 0-15, 16-30 y 31-45 del primer tiempo que en los del segundo. Por el contrario Asami *et al.* (1988), al comparar la distribución de los esfuerzos en intervalos de 15 min, afirman que los árbitros parecen tener una conducta motora bastante estable durante las distintas fases de los partidos.

En el caso de los árbitros asistentes, al analizar la evolución del perfil de actividad a lo largo de los partidos comparando los valores registrados en los primeros y segundos tiempos, también se pudo comprobar una tendencia hacia la disminución de la intensidad global del esfuerzo en los segundos períodos. Esta reducción se plasmó en el aumento del tiempo en el que el deportista permanecía parado (tamaño del efecto: 0,70) mientras que decrecía la distancia recorrida en las categorías de “trotar” (0,62) y “correr” (0,53).

El único estudio publicado en la bibliografía internacional con el que, a día de hoy, pueden ser comparados estos datos es el llevado a cabo por Krstrup *et al.* (2002) que también encontraron cómo los árbitros asistentes permanecían más tiempo parados en los segundos tiempos de los encuentros y disminuían el tiempo que empleaban andando y corriendo a una baja intensidad.

Al igual que reflejaron Krstrup *et al.* (2002) la cantidad de distancia recorrida en forma de desplazamientos laterales disminuía del primer al segundo tiempo. El tamaño del efecto de esta disminución fue muy importante, con un valor de 1,46. Este modo de locomoción se caracteriza por exigir una mayor demanda energética que la carrera frontal (Reilly & Bowen, 1984), de ahí que la reducción de su importancia en los segundos tiempos de los partidos esté asociada a la aparición de la fatiga, con una función ahorradora en los esfuerzos, y se vea afectada negativamente por la edad (Krstrup *et al.*, 2004a), de manera que los árbitros

asistentes de mayor edad recorren menos distancia en forma de carrera lateral que los más jóvenes.

La distancia total recorrida puede emplearse como una indicación global de la intensidad física del fútbol (Castagna & Abt, 2003) aunque por sí misma sea una medida pobre del stress físico que supone el juego ya que el ejercicio que realizan los deportistas es de tipo intermitente. La cantidad de ejercicio de alta intensidad es un mejor indicador de los períodos demandantes del juego y de su posible vinculación con el desarrollo de la fatiga (Bangsbo *et al.*, 1991; Rebelo *et al.*, 1998; Krstrup & Bangsbo, 2001; Krstrup *et al.*, 2002) además de relacionarse con la competición a un nivel más elevado (Ekblom, 1986; Bangsbo, 1994a; Mohr *et al.*, 2003).

Se ha comprobado que las diferencias en cuanto a la actividad realizada a una alta intensidad por un mismo árbitro (Castagna & Abt, 2003) o futbolista (Bangsbo *et al.*, 1991) en varios partidos sucesivos son pequeñas. Esto sugiere que la distancia recorrida a una alta intensidad sea una medida más estable que la distancia total recorrida (Bangsbo, 1994a). Inicialmente se pensaba que las diferencias en cuanto a la distancia recorrida por los futbolistas en los partidos venían marcadas por la cantidad de ejercicio a baja intensidad realizado (Bangsbo *et al.*, 1991) aunque, recientemente, se ha concluido que es la cantidad de distancia recorrida a una elevada intensidad la que dictamina las diferencias totales en cuanto al volumen de metros logrados en cada encuentro (Mohr *et al.*, 2003).

Las acciones realizadas a una alta intensidad son las que caracterizan la intervención cualitativa de los jugadores en los partidos. En el caso de los futbolistas dentro de este grupo se incluyen la mayoría de las acciones decisivas que marcan el devenir de los partidos (Gorostiaga, 1993). Muchas de estas acciones se hallan en ocasiones concatenadas como el realizar un salto y un cabeceo, una arrancada y un tiro a portería, un cambio de dirección y una aceleración, etc. Debido a su rol en el juego el árbitro y los árbitros asistentes deben ser capaces de soportar estas fases de alta demanda energética en el transcurso de los partidos.

Los árbitros analizados en el presente estudio recorrieron una media de 4,09 km a velocidades por encima de 3,6 m/s lo que suponía un 37% de la distancia total. Utilizando el mismo umbral para definir esta categoría (3,6 m/s) los árbitros italianos recorrían en los partidos una distancia ligeramente superior (4,7 km) o un 40-42% de la distancia total recorrida durante el juego (Castagna & D'Ottavio, 2001; D'Ottavio & Castagna, 2001a,b; Castagna *et al.*, 2002a).

En forma de desplazamientos realizados a la máxima intensidad, aquéllos cuya velocidad instantánea superaba los 5 m/s, los árbitros recorrieron como término medio 1,41 km durante los partidos (13% de la distancia total). Esta distancia es ligeramente inferior a los aproximadamente 2 km registrados en árbitros italianos (17-19% de la distancia total) (Castagna & D'Ottavio, 2001; D'Ottavio & Castagna, 2001a,b; Castagna *et al.*, 2002a; Castagna & Abt, 2003), pero superior a los 0,68 km (6%) obtenidos por Krusturup & Bangsbo (2001).

Puesto que las acciones realizadas a una alta intensidad son las que caracterizan el rendimiento de los árbitros (Krusturup & Bangsbo, 2001) y de los futbolistas (Ekblom,

1986; Bangsbo *et al.*, 1991; Mohr *et al.*, 2003), la menor distancia recorrida por los árbitros analizados en esta investigación en comparación con los árbitros italianos podría estar debida a los diferentes niveles de la competición. Mientras que el estudio actual fue realizado en partidos de alto nivel de categoría juvenil, los estudios del grupo de Castagna & D'Ottavio fueron realizados con árbitros de la "Serie A" italiana, posiblemente la competición con mayores exigencias, a nivel de condición física, en todo el mundo. De hecho los futbolistas participantes en el campeonato italiano recorren un 28% más de distancia a una alta intensidad y un 58% más sprintando que los futbolistas de la liga danesa de la máxima categoría (Mohr *et al.*, 2003).

Castagna *et al.* (2004a), al comparar el rendimiento de árbitros italianos del máximo nivel y de árbitros de categoría internacional, encontraron cómo éstos últimos recorrían una menor distancia a una elevada intensidad durante los partidos con una promedio idéntico (37%) al obtenido en el trabajo actual. Por ello parece reconocido el hecho de que las variaciones en la cantidad de ejercicio realizado de elevada intensidad sean dependientes del nivel de la competición. Los jugadores de la primera división danesa (Bangsbo, 1992, en Bangsbo, 1994a) recorrían también una distancia superior a una alta intensidad que los de la segunda división danesa.

Los árbitros asistentes recorrieron, como promedio, 1,27 km (20% de la distancia total) a una velocidad superior a los 3,6 m/s y 409 m (7%) a una velocidad que excedía los 5 m/s. Los árbitros asistentes daneses estudiados por Krstrup *et al.* (2002) recorrían 650 m (9% de la distancia total) a velocidades superiores a los 5 m/s, aunque es necesario volver a recalcar la distinta metodología empleada en ambos estudios. Así, mientras los asistentes daneses permanecían un 2% del tiempo total de juego corriendo a velocidades superiores a los 5 m/s los árbitros

analizados en el presente trabajo completaban un 1,4% del tiempo total por encima de dicha velocidad.

A tenor de las consideraciones anteriormente expuestas, la cantidad de ejercicio realizado a una alta intensidad podría utilizarse como el criterio de eficacia que contribuyese a definir la participación de los deportistas en el juego del fútbol. Castagna & Abt (2003) concluyen su estudio afirmando que, aunque existen variaciones individuales en la cantidad de ejercicio de alta intensidad realizado, al comparar el rendimiento de distintos árbitros entre sí la distancia que recorría un mismo árbitro en partidos sucesivos permanecía constante. Esto podría conllevar a que la observación de un único partido de un árbitro pudiese servir como una medida precisa de la habilidad individual para producir ejercicio de alta intensidad (Castagna & Abt, 2003), tratándose de una variable fiable de cara al seguimiento y evaluación del rendimiento físico de los árbitros de alto nivel.

Krustrup & Bangsbo (2001) cifraron la variabilidad individual en cuanto a la distancia recorrida a una alta intensidad por un mismo árbitro en dos partidos distintos, expresada en forma de coeficiente de variación de la distancia, en un 6%. Para los árbitros asistentes esta variabilidad se elevaba hasta el 13% (Krustrup *et al.*, 2002). En el caso de los dos árbitros asistentes de un mismo partido el coeficiente de variación para la carrera a alta intensidad fue del 22% (Krustrup *et al.*, 2002). En el estudio actual la variabilidad (coeficiente de variación) en la cantidad de ejercicio de elevada intensidad realizada por los dos árbitros asistentes que participaron en el mismo encuentro fue del 22% para la categoría “correr” y del 31% para “sprintar”. Ni en el estudio actual ni en el llevado a cabo por Krustrup *et al.* (2002) se ha encontrado una correlación significativa entre la cantidad de ejercicio a una elevada

intensidad realizado por los dos árbitros asistentes intervinientes en un mismo partido.

En el caso de los futbolistas de alto nivel Mohr *et al.* (2003) estimaron en un 9% el coeficiente de variación de la distancia recorrida a una alta intensidad en dos partidos sucesivos. Los futbolistas pueden variar esta distancia a lo largo de la temporada como consecuencia de las adaptaciones al entrenamiento o por las exigencias de la competición, con un coeficiente de variación de esta variable del 24% (Mohr & Bangsbo, 2001). Bangsbo *et al.* (1991) y Krusturup & Bangsbo (2001) concluyeron que el rendimiento al máximo nivel estaría dictaminado principalmente por la capacidad física de los árbitros y de los futbolistas más que por el ritmo de los partidos.

La edad puede suponer otro factor que afecte a la cantidad de ejercicio de alta intensidad realizado. A pesar de no encontrar ningún efecto general por la edad Bangsbo *et al.* (2004b) observaron que algunos árbitros mayores de 40 años tenían más problemas para seguir el juego porque realizaban menor cantidad de ejercicio de alta intensidad. En el caso de los árbitros asistentes Krusturup *et al.* (2004a), tampoco encontraron que la cantidad de ejercicio de alta intensidad se viese afectada por la edad.

Al haber determinado que la cantidad de ejercicio desarrollado durante los partidos a una elevada intensidad podría emplearse como criterio de eficacia para analizar el rendimiento de los árbitros, se antoja imprescindible profundizar en el efecto que tiene la fatiga sobre este factor crítico. Bangsbo (2004) hace referencia a tres momentos de los encuentros en los que suele manifestarse el desarrollo de la fatiga (o un descenso del rendimiento por debajo de lo esperado) como serían: después

de períodos de ejercicio intenso, en la parte inicial del segundo tiempo y en los minutos finales del partido.

Mohr *et al.* (2003) observaron que la cantidad de ejercicio de alta intensidad realizado por los futbolistas italianos de élite disminuía significativamente en los 5 min posteriores a la consecución del pico de máxima distancia recorrida a una alta intensidad durante todo el partido, como consecuencia de la fatiga que estos esfuerzos ocasionaban. Un fenómeno similar parece también producirse en el fútbol femenino de alto nivel (Mohr *et al.*, 2005). En otro estudio publicado por Krstrup *et al.* (2004b) estos autores pudieron determinar cómo los futbolistas disminuían la capacidad de sprintar tras un período de esfuerzo intenso durante el juego pero revertían esta situación antes de finalizar el encuentro, por lo que se trataba de un tipo de fatiga transitoria.

Con los árbitros de este trabajo se observó también que tras el intervalo de 5 min en el que el árbitro realizaba una mayor cantidad de ejercicio a una elevada intensidad, en los siguientes 5 min el tiempo empleado en esfuerzos a dicha intensidad disminuía, de modo significativo, en un 31%. Esta disminución en los 5 min posteriores al pico del partido representaba un descenso del 8% sobre la media del encuentro en intervalos de 5 min, reafirmando la idea de que los árbitros experimentan fatiga en el transcurso del mismo. Rebelo *et al.* (1998) habían constatado previamente un empeoramiento en la capacidad para realizar sprints repetidos durante los segundos tiempos lo que podría sugerir que la fatiga transitoria puede ocurrir durante los partidos.

Las explicaciones fisiológicas que se pueden encontrar para explicar el deterioro del rendimiento tras un período de ejercicio intenso son multifactoriales. Estudios

realizados en laboratorio y en campo han sugerido que la acumulación de lactato muscular o el descenso del pH y la consiguiente acidosis (Sahlin & Ren, 1989; Balsom *et al.*, 1992b; Bangsbo & Saltin, 1993; Bangsbo *et al.*, 1993b) o la disminución de las reservas musculares de fosfocreatina (PC) (Krustrup *et al.*, 2003a) o glucógeno (Bangsbo *et al.*, 1992a) no son los factores responsables de este tipo de fatiga.

En un estudio reciente Krustrup *et al.* (2004b) encontraron una relación significativa entre la acumulación de lactato y la disminución del rendimiento tras un período de ejercicio intenso. En cualquier caso, en un trabajo previo del mismo grupo de investigación en el que los deportistas realizaban un ejercicio intermitente intenso hasta el agotamiento Krustrup *et al.* (2003a) no determinaron diferencias entre la tasa de lactato muscular y el pH en el momento del agotamiento en relación a los valores obtenidos 1,5 min antes de alcanzar dicho estado (es decir, al 90% de la marca del agotamiento) por lo que la acumulación de lactato o el descenso del pH muscular no parecían ser los causantes de este tipo de fatiga durante el fútbol, corroborando observaciones previas (Bangsbo *et al.*, 1996) que encontraban cómo la fatiga aparecía con distintos niveles de lactato.

Es opinión consensuada en la bibliografía que la suplementación con creatina muestra un efecto positivo en la realización de ejercicio intermitente (Balsom *et al.*, 1992a y 1993a; Mújika *et al.*, 2000; Cox *et al.*, 2002). Además Krustrup *et al.* (2004b) determinaron una disminución respectiva de las reservas musculares de ATP y PC del 13 y 24% en relación a los niveles de reposo después de un período de ejercicio intenso en partidos amistosos de futbolistas daneses de cuarta división. Sobre esta muestra de jugadores observaron cómo después de un período de ejercicio intenso el rendimiento en una prueba de sprints repetidos se veía

disminuido de manera significativa, un 1,6% en el primer tiempo y un 3,6% en el segundo período. Este descenso en el rendimiento mostraba una relación con la concentración de fosfocreatina pero no con la cantidad de glucógeno total. Sea como fuere Krstrup *et al.* (2003a) no apreciaron cambios en la concentración de los fosfatos de creatina en la fase final de un ejercicio intermitente intenso, por lo que este metabolito no sería tampoco el responsable principal de la fatiga transitoria.

Bangsbo (2004) hace referencia a perturbaciones de la homeostasis iónica muscular y a la alteración de la excitación del sarcolema como causas principales de la fatiga temporal que acontece durante los partidos. El aumento en la acumulación de potasio en el intersticio reduce la capacidad de las células musculares para generar fuerza (Cairris *et al.*, 1995, en Bangsbo, 2003) y puede ser inductor de la fatiga (Bangsbo *et al.*, 1996; Nordsborg *et al.*, 2003; Mohr *et al.*, 2005). Durante el ejercicio intenso el potasio es liberado al exterior de la célula y la bomba sodio/potasio (Na^+/K^+) se encarga de ir reintroduciéndolo. En el caso de una alteración en el ritmo de trabajo de la bomba Na^+/K^+ el potasio se acumula en el intersticio de los músculos activos y puede provocar una inhibición refleja al unirse a los receptores nerviosos de las fibras musculares (Garland & McComas, 1990, en Bangsbo & Saltin, 1993). El proceso de contracción también podría verse afectado por inhibiciones del potencial de acción debido a las perturbaciones iónicas en el sarcolema (Sjogaard, 1991, en Bangsbo, 1994a)

En el caso de los árbitros asistentes los esfuerzos realizados a una alta intensidad permanecían inalterados a lo largo de todo el encuentro lo que podría significar que, aunque los árbitros asistentes puedan experimentar episodios de fatiga en el transcurso de los partidos, se administran sus reservas para permitirles realizar los

esfuerzos a una elevada intensidad en los momentos cruciales de los partidos. El carácter alternativo del juego también les puede prevenir del desarrollo de este tipo de fatiga a corto plazo, puesto que es poco frecuente que un equipo realice ataques continuos sobre la portería rival sobre un período de juego prolongado (5-10 min). De este modo, mientras el balón está siendo disputado en la otra mitad del campo, el árbitro asistente puede recuperarse del ejercicio intenso precedente y evitar que este tipo de fatiga transitoria afecte a sus prestaciones.

En los primeros 15 min de los partidos los árbitros y árbitros asistentes recorrían una mayor distancia en forma de desplazamientos a una elevada intensidad logrando entre los minutos 6 y 10 el pico de mayor distancia para todo el partido. También se ha registrado este pico máximo de actividad en los primeros 15 min de los partidos en futbolistas italianos y daneses de alto nivel (Mohr *et al.*, 2003). Bangsbo (2003) encontró que en los 5 primeros minutos de juego del partido es donde el futbolista recorre una mayor distancia a una alta intensidad.

Al comparar el rendimiento de los árbitros y árbitros asistentes en intervalos de 15 min durante todo el encuentro se pudo observar cómo en el cuarto de hora inicial del segundo período el tiempo empleado en esfuerzos a una elevada intensidad era inferior que en el intervalo inicial del partido, siendo la magnitud del efecto muy destacable, en concreto de 2,63. Diversos estudios han encontrado una menor actividad entre los minutos 46 y 60 del segundo período en relación con las primeras partes de los partidos tanto en árbitros (Krustrup & Bangsbo, 2001) como en árbitros asistentes (Krustrup *et al.*, 2002) en cuanto a la realización de ejercicio intenso. En el caso de los futbolistas Mohr *et al.* (2003) registraron una menor cantidad de ejercicio de alta intensidad, con la muestra conjunta de jugadores

italianos y daneses, en los primeros 5 min del segundo tiempo en relación con los 5 min iniciales del partido.

Diversos factores fisiológicos y psicológicos pueden contribuir a explicar este fenómeno. Mohr *et al.* (2004c) plantearon un estudio con futbolistas de la cuarta división danesa en el que intentaron comprobar el efecto que tenía la disminución de la temperatura muscular y corporal sobre el rendimiento en una prueba de sprints repetidos. Para ello, en un partido de fútbol amistoso, realizaron registros de la temperatura muscular del cuádriceps y de la temperatura rectal en diversos momentos del partido (antes y después del calentamiento, al finalizar el primer tiempo, al inicio del segundo y al final del partido). Los futbolistas fueron divididos en dos grupos, un grupo que no realizaba ningún tipo de actividad en los 15 min de descanso y otro grupo que descansaba los primeros 7 min del intermedio y luego realizaba durante los otros 7 min una actividad aeróbica moderada (al 70% de la $FC_{máx}$ alcanzada durante el juego), finalizando la actividad 1 minuto antes del inicio del segundo período. Todos los futbolistas realizaron un test de sprints repetidos (tres veces 30 m con una recuperación entre sprints de 25 s) antes de empezar y finalizar cada uno de los períodos de juego. Mohr *et al.* (2004c) encontraron que el grupo que hacía un trabajo activo en el descanso tenía una temperatura muscular 1,5 °C mayor que el que realizaba una recuperación pasiva. Además, mientras que el grupo que hacía un trabajo en el descanso no veía su rendimiento significativamente reducido en el test de sprints en el inicio del segundo tiempo en relación con los registros del primer período, el otro grupo veía su rendimiento en esta prueba significativamente reducido (2,4%) al inicio del segundo tiempo. La disminución de la temperatura corporal en el descanso se correlacionó con la pérdida de rendimiento en la prueba de sprints repetidos ($r=0,60$; $p<0.05$; $n=16$).

Los datos obtenidos por Mohr *et al.* (2004c) sirven para indicar que un período de recuperación o inactividad de 15 min, bien en el descanso de los partidos o incluso antes del inicio después del calentamiento, produce un enfriamiento de los músculos con el consiguiente deterioro de la capacidad para realizar ejercicio a una alta intensidad (Asmussen & Boje, 1945; Sargeant, 1987). Krstrup *et al.* (2002) también constataron un descenso de la temperatura muscular de 1,5 °C en los árbitros asistentes durante el descanso, que suponía también 1 °C menos que la temperatura muscular que tenían al inicio del partido, y que de un modo práctico se traducía en que en los primeros 5 min del segundo tiempo los jueces recorrían un 33% menos de distancia a alta intensidad y un 30% menos en forma de carrera lateral en relación al intervalo inicial del encuentro.

La diferencia de la distancia recorrida por los árbitros asistentes a una alta intensidad en los primeros 15 min del segundo tiempo no alcanzó un nivel significativo en relación a los valores del cuarto de hora inicial ($p=0,062$). En cualquier caso el tamaño del efecto (0,49) y el hecho de que la distancia total recorrida por los árbitros asistentes sí experimentase una disminución significativa en relación al inicio del juego sugieren la necesidad de realizar ejercicio de baja intensidad durante los minutos finales del descanso, para favorecer una óptima prestación en los compases iniciales tras la reanudación del encuentro.

Siguiendo el razonamiento expuesto por Bangsbo (2004) sobre las posibles situaciones críticas del juego en relación al desarrollo de la fatiga o del deterioro del rendimiento, la tercera de ellas tendría lugar en los minutos finales del partido. Empleando un protocolo que simulaba los esfuerzos de un encuentro de fútbol Rahnama *et al.* (2003) observaron cómo en los instantes finales de la prueba la

capacidad de fuerza de los músculos flexores y extensores de la rodilla se veía reducida lo que podría hacer aumentar el riesgo de lesión en los deportistas.

La cantidad de ejercicio a alta intensidad realizado por los árbitros analizados durante la presente investigación disminuía en las segundas partes en relación a los primeros 45 min (tamaño del efecto: 0,85) corroborando las conclusiones obtenidas en anteriores estudios (Krustrup & Bangsbo, 2001). Esta importante disminución en la cantidad de ejercicio de alta intensidad en el segundo tiempo vendría a revelar que tanto los árbitros como los futbolistas utilizan plenamente su capacidad física a lo largo del partido (Mohr *et al.*, 2003). En investigaciones llevadas a cabo con futbolistas portugueses de alto nivel Rebelo *et al.* (1998) observaron un empeoramiento en la capacidad para desarrollar ejercicio intermitente intenso, valorado mediante la prueba de resistencia intermitente de tipo yo-yo ("Yo-yo Intermittent Endurance Test" o YYIET), a la conclusión de los partidos.

El hecho de que exista un pequeño repunte en la distancia recorrida a una alta intensidad en los últimos 5 min de partido, tras haber alcanzado el valor mínimo entre los minutos 81 y 85, podría deberse a una estrategia de los árbitros que les lleva a ahorrar sus energías para los minutos finales y cuando ven la proximidad de la finalización del partido, agotan sus reservas. El rendimiento en los últimos 15 min de cada período se suele indicar como el período de mayor urgencia de los partidos (Reilly, 1996a). Especialmente en los últimos 15 min del segundo tiempo los jugadores tienden a dar todas sus energías remanentes para influir en el resultado final del partido y este "sprint final" podría afectar al esfuerzo del árbitro (D'Ottavio & Castagna, 2001a).

En el caso de los futbolistas italianos de élite se ha podido observar (Mohr *et al.*, 2003) cómo en los últimos 15 min de los encuentros recorrían entre un 14 y 45% menos de distancia a una alta intensidad (diferencia significativa con los primeros 60 min de juego). Estos autores observaron cómo los jugadores que entraban como suplentes en los partidos recorrían un 25% más de distancia a una alta intensidad en los últimos 15 min de los partidos y sprintaban un 63% más de distancia que los jugadores que no eran reemplazados. El árbitro, por el contrario, no puede ser sustituido en el transcurso del partido debiendo mantener su rendimiento a lo largo del encuentro independientemente del ritmo impuesto por los jugadores (Catterall *et al.*, 1993).

Estos datos corroboran la idea de que la fatiga también aparece en los momentos finales de los partidos como demuestra el empeoramiento en la marca obtenida en la prueba de sprint de 15 m en estudios llevados a cabo con futbolistas juveniles al finalizar los partidos (Rebelo *et al.*, 1998). También Balsom *et al.* (datos no publicados, en Bangsbo, 1994a) encontraron que la velocidad media al realizar un sprint de 20 m disminuía significativamente de 8,3 a 8,1 m/s como consecuencia de un partido indicando que algunos jugadores experimentan fatiga en el transcurso de los encuentros.

Las causas que originan la fatiga durante la repetición de ejercicio intermitente de alta intensidad no están aún totalmente identificadas. Tras analizar la respuesta fisiológica de diversos sujetos durante la realización de la prueba yo-yo de recuperación intermitente ("Yo-yo Intermittent Recovery Test"), que muestra una elevada correlación con el rendimiento en los partidos de fútbol, Krstrup *et al.* (2003a) concluyeron que la fatiga en este tipo de ejercicio (intermitente de alta intensidad) no estaba aparentemente relacionada con el descenso del pH muscular,

el descenso de la concentración de la PC, los niveles de glucógeno o las elevadas concentraciones de lactato.

A pesar de la reflexión anterior, el descenso de las reservas de glucógeno podría ser la causa de fatiga en el ejercicio de larga duración al haberse observado (Bangsbo *et al.*, 1992b; Balsom *et al.*, 1999a,b; Welsh *et al.*, 2002) un empeoramiento del rendimiento cuando los valores iniciales de glucógeno eran inferiores a 200 mmol/kg de músculo seco. Es posible que esta contradicción se deba a que en el estudio de Krstrup *et al.* (2003a) todos los sujetos tuvieron concentraciones post-ejercicio por encima de estos valores (215-480 mmol/kg de músculo seco) y más del 85% de las fibras individuales estaban completas o parcialmente completas con glucógeno en el momento del agotamiento con prácticamente ninguna fibra vacía en dicho instante.

Además en el estudio de Bangsbo *et al.* (1992b), basado también en el ejercicio intermitente de larga duración, no encontraron diferencias en el ratio de glucólisis en un rango de valores de glucógeno de 250 a 650 mmol/kg de músculo seco y ningún efecto en el rendimiento con las supercompensaciones por encima de los valores normales de glucógeno muscular. Todo esto sugiere que la disponibilidad de glucógeno no resultaría ser un factor limitante del ejercicio intermitente de corta duración, siempre y cuando el sujeto tuviera una alimentación normal (Krstrup *et al.*, 2003a).

En el caso del fútbol la situación metabólica que se presenta parece ser más compleja que las analizadas en laboratorio. Por este motivo el agotamiento prematuro de las reservas de glucógeno sí podría revelarse como un factor relevante en el desarrollo de la fatiga ya que reduce el rendimiento en sprints al

finalizar el partido (Balsom *et al.*, 1999b). Krstrup *et al.* (2004b) observaron cómo la concentración de glucógeno muscular se veía disminuida significativamente en el transcurso del partido pasando de 450 a 241 mmol/kg de músculo seco de antes a después del partido. Al finalizar el encuentro un 36% de las fibras musculares se hallaban casi vacías de glucógeno y un 12% totalmente vacías. Además, el rendimiento en una prueba de sprints repetidos no se veía afectado al finalizar el primer tiempo, pero sí se reducía un 3,4% al finalizar el segundo. Estos datos sugieren que la fatiga en los momentos finales de los partidos de fútbol podría hallarse ligada a la deplección de glucógeno en las fibras musculares individuales (Mohr *et al.*, 2005).

Además de la disminución de las reservas de glucógeno la deshidratación también puede tener una trascendencia en el desarrollo de la fatiga. Durante un partido puede haber una pérdida neta de fluido de 1,8 kg o un 2,2% del peso corporal lo que puede incidir en la merma de rendimiento en los instantes finales de los encuentros (Craig & Cummings, 1966, en Mohr *et al.*, 2004c). Rahnama *et al.* (2003) observaron también una tasa de sudoración de 1,2 litros por hora en una prueba que simulaba los esfuerzos de un partido de fútbol.

Existen diversos estudios (Castagna & D'Ottavio, 2001; D'Ottavio & Castagna, 2001a,b; Castagna *et al.*, 2002a) en los que no se han observado diferencias al comparar las carreras a alta intensidad realizadas en el segundo tiempo ni en intervalos de 15 min. Incluso, Castagna & D'Ottavio (1999) encontraron que los árbitros recorrían más distancia a velocidades superiores a los 24 km/h en los segundos tiempos de los partidos. Este hecho podría significar que los árbitros italianos participantes en ese estudio dosificaban mejor sus esfuerzos para llegar a la parte crucial del partido en un estado óptimo o que disponían de un nivel de

condición física superior, en comparación con los árbitros que fueron objeto de estudio durante la investigación actual.

En el caso de los árbitros asistentes la cantidad de ejercicio realizado a una alta intensidad no variaba entre los dos períodos de tiempo, corroborando lo expuesto anteriormente por Krustup *et al.* (2002). La máxima distancia en este tipo de esfuerzos se alcanzaba durante los primeros 15 min del partido. Por el contrario, durante los últimos 30 min de los partidos los árbitros asistentes realizaban la menor cantidad de ejercicio a velocidades superiores a los 3,6 m/s. Los datos de Krustup *et al.* (2002) sustentan esta afirmación al encontrar que once de los doce árbitros asistentes que se estudiaron eran más lentos en la prueba de sprints repetidos al finalizar los partidos en relación al registro inicial indicando que la capacidad para sprintar se veía afectada durante el juego.

Según todo lo expuesto el rendimiento de los árbitros durante los partidos disminuye por la fatiga en tres momentos distintos: tras un período de ejercicio intenso, en el inicio del segundo tiempo y en el tramo final del encuentro y se debe a un fenómeno multifactorial en el cual los cambios metabólicos y la acidosis muscular, así como la deplección de glucógeno en una fracción de las fibras musculares pueden ser importantes (Krustup *et al.*, 2004b). En cualquier caso, Mohr *et al.* (2004c) sugieren la necesidad de efectuar más investigaciones al respecto para profundizar en el conocimiento de los mecanismos de la fatiga durante este peculiar tipo de ejercicio.

Además de reunir unos requisitos de condición física que les permitan adaptarse a las demandas del juego los árbitros y árbitros asistentes deben dominar la técnica del arbitraje. Los jueces deben mantener un correcto posicionamiento durante el desarrollo del juego para adoptar el mejor punto de observación y ángulo de visión de las jugadas y así poder juzgarlas de manera imparcial (Scarselli *et al.*, 1992, en Rontoyannis *et al.*, 1998). El logro de una posición óptima resulta primordial para obtener una perspectiva idónea de los acontecimientos ya que de esta manera las decisiones de los árbitros pueden ser más fiables, disminuyendo el riesgo de error (Castagna & D'Ottavio, 2001). Helsen & Bultynck (2004) subrayan la importancia del proceso de toma de decisiones de los árbitros, sujeto a restricciones temporales que dificultan la aplicación de las Reglas del Juego.

De modo general los árbitros reciben la directriz por parte de la Comisión de Arbitraje de la FIFA de seguir el juego mediante movimientos siguiendo una línea diagonal imaginaria entre la zona de ataque izquierda de cada equipo que abarca todo el campo, sin entorpecer en su desarrollo. Los árbitros asistentes se encargan de facilitar la labor del árbitro en las zonas del campo contrarias a esta línea teórica por la que se desplaza prioritariamente el árbitro, al tiempo que deben adoptar una ubicación perpendicular a la línea del fuera de juego del equipo que defiende que viene delimitada por la posición del penúltimo defensor. El empleo de este tipo de movimientos permite tanto al árbitro como a los árbitros asistentes supervisar de una manera más precisa los lugares de mayor conflicto: las áreas de penalty (Rontonyannis *et al.*, 1998).

Aunque el logro de un posicionamiento óptimo puede verse influenciado por la distancia total recorrida por el árbitro (Harley *et al.*, 2001b) se trata de una variable que puede experimentar un efecto negativo debido a la fatiga. Durante el presente

estudio se pudo comprobar cómo los árbitros aumentaron la distancia media al lugar de señalización de las infracciones en la zona de ataque izquierda del primer al segundo tiempo. Previamente Krustup & Bangsbo (2001) habían constatado el mismo fenómeno con una distinta distribución espacial del campo. En el trabajo actual, para eliminar la influencia del árbitro asistente, se dividió la zona de ataque en dos zonas y se pudo comprobar cómo la diferencia aumentaba únicamente en la zona de ataque izquierda, es decir, aquella en la cual no había una influencia operativa del árbitro asistente, con un tamaño del efecto notable (0,61).

Este dato reafirma la idea de que los árbitros experimentan fatiga a lo largo de los encuentros y manifiesta la importancia que puede tener la misma, no sólo en el aspecto físico, sino también afectando al rendimiento técnico de los jueces. El hecho de que aumente la distancia al lugar de señalización de las infracciones indica una peor capacidad para seguir el juego de cerca y, en teoría, un aumento del riesgo de tomar decisiones incorrectas.

Para los árbitros asistentes analizados en la presente investigación no se observó un empeoramiento del posicionamiento técnico a lo largo de los partidos. Posiblemente el escaso número de situaciones de fuera de juego analizadas por partido (un promedio inferior a cinco por partido) haya impedido la obtención de datos más elocuentes sobre este aspecto. Krustup *et al.* (2002) sí constataron un incremento en la distancia máxima a esta línea teórica en el transcurso de los partidos lo que vendría a representar una peor capacidad para seguir el juego de cerca y para lograr un óptimo campo visual de la situación de los jugadores, con lo que también aumentaría el riesgo de errar en la toma de decisión.

4.2 Análisis de la respuesta fisiológica durante la competición

La monitorización de la respuesta de la frecuencia cardíaca durante los partidos puede utilizarse como un método indirecto para la estimación del gasto energético que supone la actividad aunque por sí sola proporciona un indicador eficaz del stress fisiológico general que supone la práctica del fútbol (Reilly & Thomas, 1979; Johnston & McNaughton, 1994; Reilly, 1997). Esto hace que, en la actualidad, se trate de la técnica experimental habitualmente empleada para registrar la intensidad de los esfuerzos realizados en campo (Achten & Jeukendrup, 2003).

Aunque la frecuencia cardíaca puede verse afectada por factores como las condiciones ambientales, el stress psicológico, las contracciones estáticas, etc., el error debido a estos condicionantes, que pueden provocar que aumente la frecuencia cardíaca sin el consiguiente incremento del consumo de oxígeno, resulta pequeño, ya que sólo durante períodos cortos de juego la relación entre la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno difiere de la que se obtiene en condiciones de laboratorio (Bangsbo, 1994a).

Los árbitros analizados durante esta investigación ($n=10$) tuvieron unos valores de FC_{med} durante los encuentros de 157 p/min. Este registro se encuentra dentro del rango de las 153 a 165 p/min en el que se engloban todos los estudios publicados sobre los árbitros en la literatura internacional (Catterall *et al.*, 1993; Johnston & McNaughton, 1994; Harley *et al.*, 2001b; D'Ottavio & Castagna, 2001a; Krusturup & Bangsbo, 2001; Weston & Brewer, 2002; Carvahlo *et al.*, 2004; Bangsbo *et al.*, 2004b). Además, este valor medio es muy similar a las 155 p/min determinadas por

Helsen & Bultynck (2004) en su estudio con árbitros internacionales durante partidos de competición oficial pertenecientes a la Eurocopa de Naciones del año 2000.

Los datos de frecuencia cardiaca obtenidos en futbolistas durante los partidos muestran unos valores ligeramente superiores a los obtenidos por los árbitros del presente estudio, con unos resultados que se encuentran en el rango de las 160 a las 170 p/min (Van Gool *et al.*, 1988; Ali & Farrally, 1991b; Pirnay *et al.*, 1993; Florida James & Reilly, 1995; Krstrup *et al.*, 2004b; Mohr *et al.*, 2004c). En cualquier caso, para poder efectuar comparaciones entre distintos estudios o entre distintas poblaciones de deportistas (árbitros y futbolistas) resulta necesario tener en consideración una serie de factores como el nivel de la competición, el ritmo de juego o las condiciones ambientales.

La FC_{med} obtenida por los árbitros durante el presente campeonato representa aproximadamente el 83% de la $FC_{máx}$ de los deportistas. Este valor resulta ser ligeramente inferior al del resto de estudios llevados a cabo con árbitros, que reflejan siempre porcentajes superiores al 85% de la $FC_{máx}$ (Catterall *et al.*, 1993; Johnston & McNaughton, 1994; Harley *et al.*, 2001b; D'Ottavio & Castagna, 2001a; Krstrup & Bangsbo, 2001; Weston & Brewer, 2002; Carvahlo *et al.*, 2004a; Bangsbo *et al.*, 2004b; Helsen & Bultynck, 2004). Este hecho probablemente se debe a que los árbitros estudiados en este trabajo pertenecían a un llamado grupo de "talentos", es decir, se trataba de árbitros que estaban siendo formados para participar en posteriores competiciones del máximo nivel y por eso en el momento de llevar a cabo la investigación, tenían una edad media inferior (33 años) a la de los árbitros de las demás investigaciones (37-40 años). Al tratarse de deportistas más jóvenes, su $FC_{máx}$ sería superior y al trabajar a una frecuencia cardiaca

absoluta semejante durante los partidos, el porcentaje de la $FC_{m\acute{a}x}$ debería ser, como consecuencia de lo anterior, inferior.

Al clasificar los esfuerzos de los árbitros en categorías en relación a la $FC_{m\acute{a}x}$ de los sujetos se pudo observar cómo aproximadamente el 20% del tiempo total de juego se empleaba en acciones realizadas a una baja intensidad por debajo del 75% de la $FC_{m\acute{a}x}$. Las acciones desarrolladas a una media intensidad ocupaban el 39% del tiempo, mientras que el 41% restante el árbitro estaba por encima del 85% de la $FC_{m\acute{a}x}$. De modo general estos datos denotan una menor intensidad global del esfuerzo que los árbitros internacionales estudiados por Helsen & Bultynck (2004) posiblemente debido al hecho de que este último estudio se llevó a cabo sobre una competición de categoría absoluta (Eurocopa de Naciones del año 2000) mientras que los datos de la presente investigación se obtuvieron en un campeonato de categoría juvenil (sub-17), lo que podría haber derivado en una menor exigencia cardíaca en los árbitros. En cualquier caso el elevado porcentaje de tiempo empleado a intensidades por encima del 85% de la $FC_{m\acute{a}x}$ denota una alta sollicitación del sistema cardiovascular durante los encuentros (Krustrup & Bangsbo, 2001).

La frecuencia cardíaca media de los árbitros asistentes analizados durante los partidos de competición ($n=20$) fue de 145 p/min, lo que supone un 77% de la $FC_{m\acute{a}x}$ de los sujetos. Este valor de la frecuencia cardíaca es similar al registrado en los árbitros asistentes participantes en la Eurocopa del año 2000 (Helsen & Bultynck, 2004) y supera al obtenido en árbitros asistentes daneses (Krustrup *et al.*, 2002). Sea como fuere los valores son inferiores a los registrados en árbitros (Catterall *et al.*, 1993; Jonhston & McNaughton, 1994; Harley *et al.*, 2001b; D'Ottavio & Castagna, 2001a; Krustrup & Bangsbo, 2001; Weston & Brewer, 2002; Carvahlo *et*

al., 2004a) y en futbolistas (Ali & Farrally, 1991b; Florida-James & Reilly, 1995; Krustup *et al.*, 2004b; Mohr *et al.*, 2004c) tanto en términos absolutos como relativos.

En relación a la $FC_{m\acute{a}x}$ de los deportistas los árbitros asistentes ocuparon un 35% del tiempo total del partido a intensidades bajas. El 43% del tiempo los árbitros estuvieron en un rango medio de intensidad (76-85% de la $FC_{m\acute{a}x}$), mientras que el restante 22% fue empleado en acciones de alta intensidad.

La intensidad del juego puede tener un efecto negativo sobre la función cognitiva tanto de los árbitros como de los árbitros asistentes. Reilly & Smith (1986) concluyeron su estudio sobre el efecto de la intensidad del trabajo en el rendimiento en una tarea psicológica afirmando que las intensidades relativas de aproximadamente el 60% del máximo podían ocasionar disminuciones en las tareas mentales. En los episodios de mayor demanda energética durante los partidos, cuando la intensidad del ejercicio supera el 80% del $VO_{2m\acute{a}x}$, aumenta la posibilidad de error en el proceso de toma de decisión por la disminución de las funciones complejas psicomotrices (Reilly & Smith, 1986).

Otros autores (Marriot *et al.*, 1993) también han tratado de analizar el efecto de la intensidad del esfuerzo sobre el rendimiento cognitivo en futbolistas, habiendo observado que el ejercicio entre el 75 y el 80% de la $FC_{m\acute{a}x}$ no parecía inducir a un deterioro de la prestación en jugadores experimentados al no verse afectado el proceso de toma de decisión. A pesar de este hecho los jugadores analizados en el estudio de Marriot *et al.* (1993) presentaban indicios subjetivos de fatiga (según la escala de percepción de Börg), que no se manifestaron en un deterioro de la función cognitiva, quizás porque la intensidad de carrera en el tapiz fuese menor a

la experimentada realmente durante el juego. La intensidad que experimentan los árbitros y árbitros asistentes durante un partido puede exceder frecuentemente el 75-80% de la $FC_{m\acute{a}x}$ por lo que, probablemente, el proceso de toma de decisiones sí podría verse afectado y tener una repercusión negativa sobre el rendimiento (D'Ottavio & Castagna, 2001a).

Para continuar profundizando en la importancia que puede tener la frecuencia cardiaca de cara a la interpretación de las demandas del juego es necesario mencionar diversos factores que pueden incidir en el comportamiento de este parámetro.

El análisis de la respuesta de la frecuencia cardiaca de un mismo deportista a lo largo de dos partidos (variabilidad intra-individual) permitió constatar un comportamiento relativamente estable del citado parámetro a lo largo de los partidos, siendo el coeficiente de variación para los cinco árbitros asistentes estudiados en al menos tres partidos distintos del 3% con una oscilación de las pulsaciones de 9 (4-15) p/min. En estudios previos realizados con árbitros se pudo comprobar como la FC_{med} oscilaba en un rango de 4 (2-7) p/min con un coeficiente de variación del 2% (Krustrup & Bangsbo, 2001), mientras que en el caso de los árbitros asistentes analizados en dos partidos diferentes el rango se elevaba a las 7 (2-12) p/min con un coeficiente de variación del 6% (Krustrup *et al.*, 2002).

Existen resultados contradictorios a la hora de determinar si el nivel de la competición afecta a la respuesta de la frecuencia cardiaca. Ni Krustrup & Bangsbo (2001), al comparar los valores de FC_{med} de árbitros de la "Superliga" y de la primera división de Dinamarca, ni Catterall *et al.* (1993), al estudiar a catorce árbitros de cinco niveles de competición distintas en Inglaterra ("Premier League",

primera y segunda división, “Conference League” y una liga local), encontraron diferencias en cuanto a los valores de la frecuencia cardiaca en los distintos niveles competitivos. Por otro lado, Carvahlo *et al.* (2004a) sí pudieron comprobar como los árbitros de una liga profesional tenían valores de FC_{med} significativamente inferiores que los árbitros de una liga amateur, aunque el número de registros obtenidos en este estudio fueron muy escasos.

En el caso de los futbolistas también se han obtenido conclusiones contrapuestas. Ekblom (1981) (en Ekblom, 1986) afirmaba que el nivel competitivo de la práctica del fútbol no incidía en el gasto energético total que experimentaba el futbolista durante el juego, al comparar los valores de futbolistas del equipo nacional, futbolistas de cuarta división y practicantes de fútbol a nivel recreativo. Las conclusiones de Ali & Farrally (1991b) son antagónicas ya que encontraron que los jugadores que competían a un mayor nivel (semiprofesionales) presentaban unos valores de frecuencia cardiaca media superiores (172 p/min) que los futbolistas universitarios (167 p/min) y recreativos (168 p/min) permitiendo expresar una mayor intensidad del juego.

La edad puede ser otro factor que incida en la respuesta de la frecuencia cardiaca durante el juego. Bangsbo *et al.* (2004b) encontraron que los árbitros con mayor edad tenían una FC_{med} significativamente más baja durante el juego que los árbitros más jóvenes aunque, cuando los valores se expresaban en términos relativos en función de la $FC_{máx}$, no se encontraban diferencias entre los árbitros agrupados según su edad. Al comparar el rendimiento de árbitros asistentes de distinta edad Krstrup *et al.* (2004a) no encontraron diferencias en los valores de frecuencia cardiaca media expresados tanto en términos absolutos como relativos aunque

existía la tendencia a que los asistentes más jóvenes trabajasen a un porcentaje menor de la $FC_{m\acute{a}x}$ durante los partidos.

La frecuencia cardiaca también se puede ver afectada por los factores psicológicos. Catterall *et al.* (1993) observaron cómo antes del inicio de los partidos los árbitros tenían valores de frecuencia cardiaca de unas 100 p/min, lo que indicaría que los árbitros generan una pequeña taquicardia antes del inicio del juego. Este influencia psicológica tiende a desaparecer conforme se realiza ejercicio físico más exigente. También Helsen & Bultynck (2004) encontraron pulsaciones más altas en los árbitros antes de los partidos (aproximadamente el 85% de la $FC_{m\acute{a}x}$) que antes del inicio del segundo tiempo (75% de la $FC_{m\acute{a}x}$) a pesar de que en ambos casos había casi 20 min de receso desde la finalización del ejercicio anterior, por lo que el mayor dato del inicio del partido no se debería únicamente al efecto del calentamiento pre-partido.

Un factor adicional que puede incidir en la respuesta de la frecuencia cardiaca durante el juego es la fatiga. El análisis de los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación reveló cómo la frecuencia cardiaca disminuía significativamente del primer al segundo período tanto para los árbitros (tamaño del efecto: 0,82) como para los árbitros asistentes (tamaño del efecto: 0,62). Esta disminución de la frecuencia cardiaca podría estar relacionada con la aparición de fatiga a lo largo del juego y sería un síntoma adicional de la imposibilidad de los jueces para mantener el nivel de esfuerzo logrado en el primer tiempo de manera que, durante el segundo período, se produce una disminución de la intensidad global del ejercicio o bien tratarse de una respuesta adaptativa al menor ritmo de juego impuesto por los futbolistas en los segundos períodos.

Los resultados publicados a este respecto en la literatura internacional son contradictorios puesto que, mientras que hay estudios realizados con árbitros en los que no se ha constatado un descenso de la FC_{med} del primer al segundo tiempo (Catterall *et al.*, 1993; Harley *et al.*, 2001b; D'Ottavio & Castagna, 2001a; Krstrup & Bangsbo, 2001), en otros estudios sí se ha observado una disminución de los valores en el segundo período tanto con árbitros (Weston & Brewer, 2002) como con árbitros asistentes (Krstrup *et al.*, 2002).

En relación a los futbolistas el efecto de la fatiga sobre la respuesta de la frecuencia cardíaca sí parece más demostrado, puesto que se ha comprobado que los valores alcanzados al finalizar el segundo período son como media 2-3 p/min inferiores a los del primer tiempo (Domínguez *et al.*, 1997). En un estudio sobre veinte partidos Nogués (1998) encontró que en dieciocho de ellos la FC_{med} era mayor en el primer tiempo que en el segundo, aspecto que anteriormente había sido verificado en otros estudios (Van Gool *et al.*, 1988; Ali & Farrally, 1991b; Pirnay *et al.*, 1993; Florida James & Reilly, 1995).

Para ilustrar la influencia que puede tener la fatiga sobre la respuesta de la frecuencia cardíaca de los jueces se comparó el tiempo empleado en distintos intervalos de pulsaciones, tanto absolutos como relativos, en los dos períodos de juego.

Durante las primeras partes de los partidos los árbitros estuvieron más tiempo por encima de las 170 p/min que en las segundas, mientras que en estos últimos 45 minutos fue mayor el tiempo empleado entre las 111 y las 150 p/min. El tamaño de estos efectos para todos los casos fue mayor a 1,33 lo cual denota la importancia de las diferencias en la intensidad entre ambas partes.

Al efectuar las comparaciones entre períodos de juego atendiendo a los intervalos relativos de esfuerzo, es decir, según el porcentaje de la $FC_{m\acute{a}x}$ de los árbitros se pudo observar cómo los árbitros permanecían más tiempo por encima del 95% de la $FC_{m\acute{a}x}$ en la primera parte mientras que en la segunda eran mayores los esfuerzos entre el 66 y 75% de la $FC_{m\acute{a}x}$ en relación al inicio del encuentro. La dimensión de estos efectos, 2,54 y 1,15, respectivamente, avala las grandes diferencias determinadas entre los períodos de juego.

El estudio de la respuesta de la frecuencia cardiaca en los árbitros asistentes también permitió observar un comportamiento semejante. Así, en los primeros 45 min el tiempo empleado por encima de las 170 p/min era mayor que en el segundo período mientras que en la segunda parte aumentaba el tiempo entre las 130 y 150 p/min en relación a la primera.

Los árbitros asistentes también estuvieron un porcentaje de tiempo mayor en los primeros períodos por encima del 85% de la $FC_{m\acute{a}x}$ mientras que en los segundos aumentaron los esfuerzos en la categoría de “recuperación activa”, es decir, entre el 66 y 75% de la $FC_{m\acute{a}x}$. Los efectos para estas comparaciones entre períodos de juego superaba siempre el tamaño de 0,60 sirviendo para resaltar las diferencias inter-períodos.

Todos estos datos contribuyen a reforzar la idea de que tanto los árbitros como los árbitros asistentes experimentaron fatiga en el transcurso de los partidos, corroborando las anteriores conclusiones obtenidas tras el análisis cinemático del juego (descenso de la distancia recorrida en los segundos períodos, alteración del ratio de los esfuerzos, disminución de la cantidad de ejercicio realizado a una

elevada intensidad, mayor distancia a las infracciones en los segundos períodos, etc.).

Además de servir para reflejar el desarrollo de la fatiga durante el juego, la monitorización de la frecuencia cardíaca puede utilizarse como un parámetro indirecto para conocer el gasto energético que supone la actividad. Aunque en el presente estudio de investigación los deportistas no realizaron ninguna prueba en laboratorio a partir de la cual establecer las ecuaciones de regresión entre el consumo de oxígeno y la frecuencia cardíaca, de modo teórico se podría estimar la demanda media que suponía los partidos que estaría en torno al 70% del $\text{VO}_{2\text{máx}}$. En cualquier caso las predicciones del consumo de oxígeno a partir de las relaciones lineales obtenidas en pruebas de laboratorio según la representación gráfica FC- VO_2 pueden provocar sobreestimaciones del VO_2 (Rodríguez & Iglesias, 1998). Para los árbitros esta superestimación podría estar en torno al 9% según los estudios de D'Ottavio & Castagna (2001d) en los que emplearon una muestra de cuatro árbitros italianos de alto nivel.

4.3 Valoración de la condición física

Para garantizar que los árbitros y los árbitros asistentes reúnen unos niveles de condición física adecuados la FIFA evalúa periódicamente a los jueces de alto nivel que participan en las ligas nacionales y competiciones internacionales con una batería de tests que exige la superación de las pruebas de carrera de 50 y 200 m y de carrera durante 12 min (FIFA, 1989 y 1994). En caso de no lograr unas marcas mínimas en las pruebas (menos de 7,5 s en la prueba de 50 m, menos de 32 s en la de 200 m y más de 2.700 m en la de carrera de 12 min) la FIFA no permite la participación de los jueces en las competiciones. A tenor de lo observado en esta investigación, ninguna de las pruebas físicas parece reflejar las demandas cinemáticas que representa el juego para los árbitros y árbitros asistentes.

Un óptimo nivel de condición física se requiere no sólo para posicionarse bien en el campo sino también para retardar o reducir la aparición de fatiga y los efectos consiguientes que ésta puede tener en la capacidad de toma de decisión de los árbitros (Harley *et al.*, 2001b). Ya desde el año 1925 (Eisenberg *et al.*, 2004) existía la preocupación por parte de la FIFA sobre los niveles de condición física de los árbitros puesto que, tras la modificación de la regla del fuera de juego en el citado año, el juego había aumentado su ritmo y los árbitros no eran capaces de seguirlo. Por ello la FIFA y la UEFA consideran como un requisito necesario para el buen arbitraje disponer de un correcto estado de condición física aeróbica (Eissmann & D'Hooghe, 1996) probablemente porque permite seguir el juego más de cerca, proporcionando al árbitro una buena visión del juego (Harley *et al.*, 2001b).

Los árbitros analizados durante el presente estudio recorrieron una media de 2.996 m en la prueba de carrera durante 12 min. Este valor es ligeramente superior a los 2.905 m logrados por árbitros daneses (Krustrup & Bangsbo, 2001), los 2.866 m logrados por árbitros Italianos (Castagna *et al.*, 2002a) y los 2671-2793 m logrados por árbitros griegos de la primera a la cuarta división de aquel país (Rontoyannis *et al.*, 1998).

El rendimiento en la prueba de los 12 min suele utilizarse como una estimación indirecta del $VO_{2\text{máx}}$ del deportista (Cooper, 1968, en Shephard, 1992a). Estudios previos han demostrado una relación positiva entre el $VO_{2\text{máx}}$ determinado de una manera directa y la distancia recorrida durante los partidos por árbitros ($r=0,50$ con el $VO_{2\text{máx}}$ relativo; Krustrup & Bangsbo, 2001 y $r=0,87$ con el $VO_{2\text{máx}}$ absoluto; Castagna & D'Ottavio, 2001), árbitros asistentes ($r=0,68$; Krustrup *et al.*, 2002) y futbolistas ($r=0,64$; Bangsbo & Lindquist, 1992). Smaros (1980) (en Castagna *et al.*, 2002b) fue el primer autor en constatar la fuerte correlación ($r=0,89$) existente entre el $VO_{2\text{máx}}$ y la distancia total recorrida en un partido, aunque añadió que el $VO_{2\text{máx}}$ se veía también influido por el número de sprints realizados por los jugadores.

El disponer de un elevado $VO_{2\text{máx}}$ representa para los futbolistas una serie de beneficios en su rendimiento físico: tienen una tasa de recuperación más rápida tras el ejercicio intenso (Bangsbo & Mizuno, 1988; Ekblom, 1986), participan más a menudo en las situaciones decisivas de los partidos que aquéllos con consumos menores (Smaros, 1980, en Hoff, 2005), son capaces de movilizar y utilizar las grasas como sustrato a una misma intensidad de trabajo permitiéndoles ahorrar glucógeno para las fases decisivas del juego (Reilly & Thomas, 1979), disponen de mayores reservas de glucógeno y son capaces de correr más y a una mayor intensidad antes de que la reducción del glucógeno y la acumulación de lactato les

obligue a reducir la intensidad (Hoff, 2005). En el caso de los jueces la distancia recorrida a una alta intensidad ha mostrado una relación positiva con el $VO_{2m\acute{a}x}$ calculado en condiciones de laboratorio –prueba de esfuerzo- en árbitros ($r=0,54$; Krustup & Bangsbo, 2001) y en árbitros asistentes ($r=0,64$; Krustup *et al.*, 2002).

En el presente estudio no se encontró ninguna relación significativa entre el rendimiento de los árbitros en la prueba de los 12 min y la distancia total recorrida ($r=0,23$) ni con la distancia recorrida a una alta intensidad ($r=0,54$), aunque en este último caso la significación alcanzó el nivel $p=0.068$. Únicamente se pudo establecer una correlación positiva significativa con el tiempo empleado en los segundos tiempos de los partidos corriendo a una velocidad por encima de los 5 m/s ($r=0,58$), lo que podría entrever una mejor capacidad para ejecutar ejercicio a la máxima intensidad en los segundos 45 min de los encuentros.

Castagna & D’Ottavio (2001) llevaron a cabo un estudio en campo en el que determinaron los valores de $VO_{2m\acute{a}x}$ en árbitros italianos al realizar una prueba incremental sobre una pista de atletismo con un equipo de análisis de gases portátil. Aunque encontraron una influencia clara de la potencia aeróbica máxima sobre las actividades realizadas a una baja y media intensidad durante los encuentros y sobre diversas acciones realizadas en los segundos tiempos de los partidos (tiempo en acciones a baja y media intensidad, distancia recorrida a media intensidad y distancia parcial recorrida en los segundos 45 min) no encontraron relaciones significativas entre la potencia aeróbica y la distancia recorrida a una alta intensidad.

Los árbitros asistentes recorrieron una media de 2.962 m en la prueba de carrera durante 12 min, valor ligeramente superior a los 2.889 m alcanzados por árbitros

asistentes daneses (Krustrup *et al.*, 2002). La distancia recorrida en la prueba tampoco se correlacionó significativamente ni con la distancia total recorrida durante los partidos ($r=0,24$) ni con la distancia recorrida a una alta intensidad ($r=0,35$) aunque sí con la distancia recorrida a la máxima intensidad ($r=0,48$).

Otros estudios sí han encontrado unas correlaciones moderadas y significativas entre los resultados obtenidos en la prueba de los 12 min y el rendimiento en la competición, considerando la distancia total ($r=0,48$; Krustrup & Bangsbo, 2001 y $r=0,71$; Castagna *et al.*, 2002a) y la distancia recorrida a una alta intensidad por los árbitros ($r=0,46$; Krustrup & Bangsbo, 2001 y $r=0,51$; Castagna *et al.*, 2002a).

En cualquier caso, a pesar de que algunos estudios han encontrado correlaciones significativas, no parecen ser lo suficientemente determinantes como para garantizar que la prueba de los 12 min sea adecuada para predecir el rendimiento de los árbitros y árbitros asistentes durante la competición. La posible relación positiva que pudiese aparecer se debería más al hecho de que el rendimiento en la prueba de los 12 min y el rendimiento en los partidos se ven positivamente influenciados por disponer de unos valores de potencia aeróbica elevados más que por el carácter predictivo de la prueba en sí. De hecho, de las cuatro pruebas empleadas para valorar la condición física de los árbitros por Krustrup & Bangsbo (2001) la prueba de carrera durante 12 min fue la que mostró una menor relación con el rendimiento físico en la competición.

Debido a que la carga fisiológica media impuesta en los árbitros está cercana a lo que se conoce como el umbral de lactato sanguíneo (Wisloff *et al.*, 1998; D'Ottavio & Castagna, 2001a) en algunos estudios se ha intentado relacionar la velocidad de carrera de los árbitros a una concentración de 4 mmol/l y el rendimiento en la

competición (Castagna *et al.*, 2002b) determinándose una relación significativa positiva ($r=0,73$) entre esta variable y la distancia total recorrida durante los partidos, aunque no se encontró ninguna otra relación con el resto de variables cinemáticas analizadas. Bangsbo & Lindquist (1992) hallaron también una relación significativa entre el consumo de oxígeno a una concentración de lactato de 3 mmol/l y la distancia total recorrida por jugadores daneses aunque lo hacía en menor medida que el $VO_{2m\acute{a}x}$.

Esta misma variable se ha utilizado para comparar el rendimiento entre futbolistas que ocupaban distintos puestos específicos (Bangsbo, 1994a) observándose que la velocidad de carrera era significativamente inferior en los centrales, delanteros y porteros que en los laterales y centrocampistas. En cualquier caso no existían diferencias entre los jugadores titulares y reservas habituales del equipo lo que sugiere que esta variable tampoco permita distinguir entre futbolistas del máximo nivel (Bangsbo & Michalsik, 2001).

A tenor del patrón intermitente de los desplazamientos desarrollado tras el análisis de las demandas del juego en los árbitros y árbitros asistentes durante los partidos las pruebas de valoración de la resistencia aeróbica -tanto de potencia como de capacidad- que utilizan protocolos continuos no parecen ajustarse a las demandas experimentadas por los jueces durante la competición. Por ello, a pesar de la existencia de moderadas relaciones positivas entre el resultado en la prueba de los 12 min y el rendimiento físico en la competición, Krustup & Bangsbo (2001) concluyen que este test no se ha validado como una expresión del rendimiento de los árbitros durante el juego, por lo que podría ser más adecuado el empleo de una prueba intermitente que refleje las actividades de los árbitros durante los partidos.

Los resultados obtenidos por árbitros al realizar la prueba de resistencia intermitente yo-yo (Bangsbo, 1994b) han mostrado una correlación significativa con la distancia total recorrida durante los partidos ($r=0,66$) y con la distancia recorrida a una alta intensidad ($r=0,75$), mayor que la prueba de los 12 min, además de tratarse de una medida más sensible del estado físico de los jueces (Krustrup & Bangsbo, 2001). Esta prueba también ha demostrado tener una relación positiva con la cantidad de ejercicio realizado a una alta intensidad por futbolistas de élite masculinos ($r=0,71$; Krustrup *et al.*, 2003a) y femeninos ($r=0,77$; Mohr *et al.*, 2004b).

La prueba de valoración de carrera sobre 200 m pertenece únicamente a la batería de tests que deben realizar los árbitros. Como media los árbitros analizados en el presente estudio emplearon un tiempo de 28,5 s en recorrer la distancia, marca que resulta inferior a los 29,6 s empleados por árbitros italianos (Castagna *et al.*, 2002a) o a los 30,2-31,6 s registrados por árbitros griegos (Rontoyannis *et al.*, 1998).

El rendimiento en esta prueba únicamente se correlacionó significativamente con la diferencia en el tiempo empleado en la categoría de “máxima intensidad” entre el primer y segundo tiempo de los partidos ($r=-0,60$). Esta relación vendría a reseñar que los árbitros que tenían un mejor registro sobre la carrera de 200 m eran los que menos veían afectado su rendimiento al realizar esfuerzos con velocidades superiores a los 5 m/s a lo largo de los partidos. Castagna *et al.* (2002a) encontraron una discreta correlación significativa entre el resultado de esta prueba y la distancia total recorrida durante los partidos ($r=-0,48$), aunque no con la distancia recorrida a una alta ($r=-0,17$) y máxima intensidad ($r=-0,27$).

El registro de los árbitros en la prueba de 50 m tuvo un valor medio de 6,98 s, resultado ligeramente inferior a los 7,07 s empleados por árbitros italianos de alto

nivel al recorrer la misma distancia (Castagna *et al.*, 2002a) y a los 7,3-7,5 s que se registraron en las pruebas de valoración de la condición física realizadas por árbitros griegos (Rontoyannis *et al.*, 1998).

Al relacionar la marca obtenida en esta prueba con diversos parámetros del rendimiento físico del árbitro únicamente se encontró una relación significativa con la diferencia entre el primer y segundo período en el tiempo que el árbitro estuvo corriendo por encima de una velocidad de 5 m/s. Esta relación no parece suficiente para justificar el empleo de esta prueba en árbitros puesto que el test de 50 m está diseñado para la valoración de la velocidad de desplazamiento de los deportistas y la relación obtenida se sitúa más en el ámbito de la resistencia a la velocidad. Castagna *et al.* (2002a) encontraron una correlación significativa entre la marca en la prueba de los 50 m y la distancia total recorrida durante los partidos aunque en el presente estudio dicha relación no existió. Tampoco la hubo entre la marca en la prueba y la distancia recorrida a la máxima intensidad, al igual que tampoco se había encontrado en el estudio de Castagna *et al.* (2002a) probablemente porque los episodios de alta intensidad en los partidos raramente superan una distancia de 30 m.

El tiempo empleado por los árbitros asistentes analizados en la investigación actual en recorrer la distancia de 50 m fue de 6,89 s, valor prácticamente idéntico al de los árbitros asistentes daneses: 6,9 s (Krustrup *et al.*, 2002). Como sucedía con los árbitros, el rendimiento en esta prueba no se relacionaba significativamente ni con la distancia recorrida ni con el tiempo empleado en esfuerzos a la máxima intensidad. Krustrup *et al.* (2002) sí encontraron una relación entre la cantidad de distancia recorrida a elevada intensidad y la prueba de 50 m ($r=0,44$). El

rendimiento de los árbitros asistentes en el prueba de los 50 m se veía negativamente afectado por la edad (Krustrup *et al.*, 2004a).

Por el tipo de relaciones encontradas en otros estudios que han intentando relacionar el resultado de las pruebas físicas con el rendimiento en el competición parece que aquellos deportistas que destacan en una prueba son también los más notables en las otras. De hecho Castagna *et al.* (2002a) determinaron una relación significativa ($r=-0.37$; $p<0.05$) entre la prueba de los 12 min y la de 50 m indicando que los más árbitros resistentes eran también los más rápidos. En el estudio actual también se detectó una relación semejante, aunque únicamente en el caso de los árbitros asistentes, entre las marcas obtenidas en la prueba de carrera de 12 min y la de 50 m ($r=-0,41$; $p<0.05$). En el caso de los árbitros la correlación significativa existió entre la marca en las pruebas de los 200 y los 50 m ($r=0,80$; $p<0.01$).

Todos estos datos permiten concluir que las pruebas empleadas en la actualidad no son lo suficientemente sensibles para discriminar entre los deportistas. Es por ello que su función tenga un carácter más normativo (asegurar que los árbitros y árbitros asistentes posean un mínimo de condición física general) que predictivo del rendimiento físico en la competición, sin atender a la especificidad de la fatiga desarrollada durante el juego real.

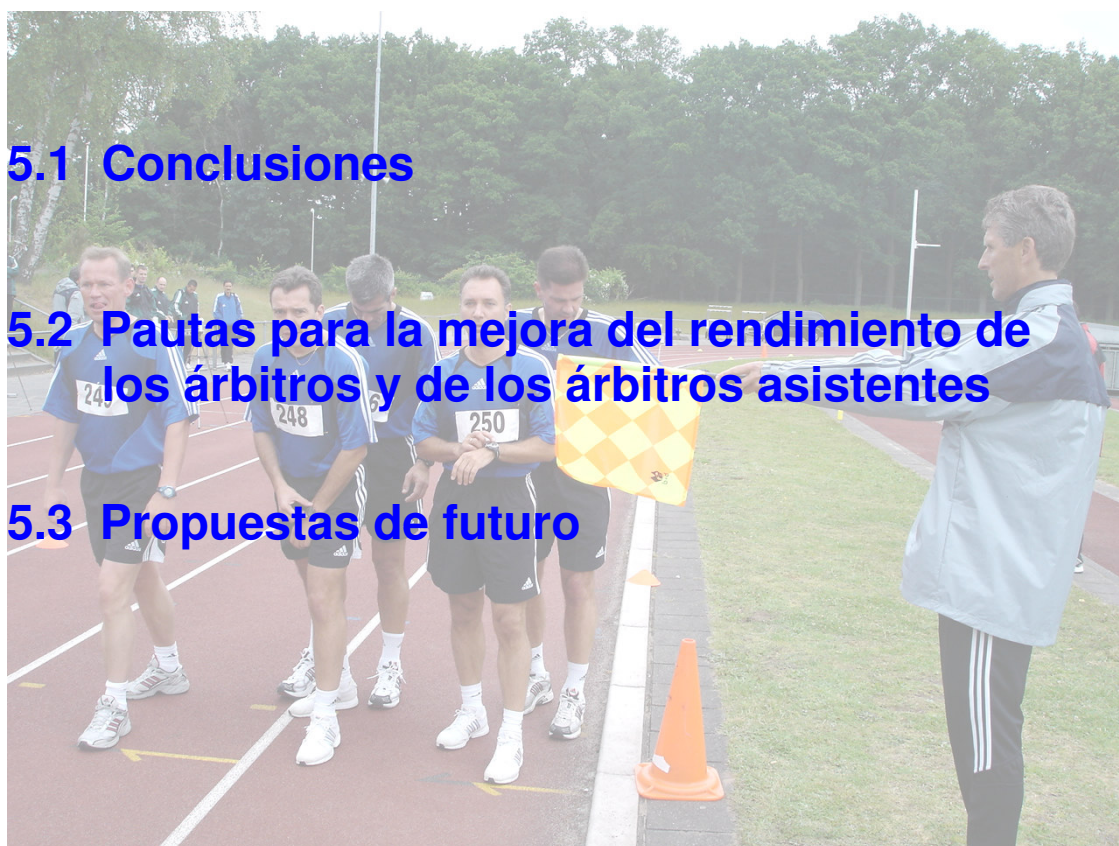
Capítulo 5.

CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones

5.2 Pautas para la mejora del rendimiento de los árbitros y de los árbitros asistentes

5.3 Propuestas de futuro



5.1 Conclusiones

A partir del desarrollo de una metodología basada en la fotogrametría 2D vídeo, validada y posteriormente aplicada en una competición de fútbol de alto nivel se han podido generar las siguientes conclusiones en relación al análisis de la participación de los árbitros y árbitros asistentes en el juego.

- (1) Los árbitros y árbitros asistentes presentan un patrón distinto de actividad durante el juego, con una marcada diferencia en las características cinemáticas de ambos roles arbitrales.
- (2) Los árbitros y, en menor medida, los árbitros asistentes experimentan una disminución del rendimiento físico en diferentes momentos de los partidos: tras períodos cortos de ejercicio intenso, en el inicio de los segundos períodos y en los minutos finales de los encuentros.
- (3) Las pruebas físicas empleadas por la Federación Internacional de Fútbol Asociado (FIFA) para la valoración de la condición física de los jueces no guardan relación con el rendimiento durante la competición.

En función de estas conclusiones obtenidas, en las siguientes paginas se intentará profundizar sobre las mismas de cara a establecer una estrategia de intervención para optimizar el rendimiento de los árbitros durante la competición.

5.2 Pautas para la mejora del rendimiento de los árbitros y de los árbitros asistentes

Una de las premisas básicas del proceso de entrenamiento deportivo es partir de un análisis objetivo del rendimiento en la competición. Los estudios centrados en el análisis del juego se han utilizado para diseñar programas de entrenamiento específicos (Withers *et al.*, 1982; Johnston & McNaughton, 1994) y para desarrollar pruebas físicas para los deportistas (Brodie, 1981).

Para poder llevar a cabo este proceso se planteó en la investigación actual un modelo de análisis del rendimiento centrado en tres aspectos: (i) análisis de la actividad cinemática desarrollada por los deportistas, (ii) monitorización de la respuesta fisiológica y (iii) valoración de la condición física.

A partir de los resultados obtenidos en cada uno de los tres apartados de la investigación se ha podido establecer un perfil específico de las demandas que supone la competición tanto para los árbitros como para los árbitros asistentes.

En el intento de optimizar el rendimiento de los deportistas durante los partidos resulta conveniente plantearse en qué medida puede mejorarse la prestación final de los jueces. A tenor de las conclusiones expuestas en el apartado anterior, existen dos vías fundamentales para enfocar la estrategia de intervención: mejorando el proceso de entrenamiento y realizando una evaluación de la condición física de los deportistas con un procedimiento más específico a las demandas del juego. La Figura 5.1 muestra de una manera esquemática esta intervención. Se trata de un proceso abierto y sujeto a continuas retroalimentaciones del exterior,

respetando siempre el objetivo primordial que es la mejora del rendimiento competitivo del deportista, en este caso de los árbitros y de los árbitros asistentes.

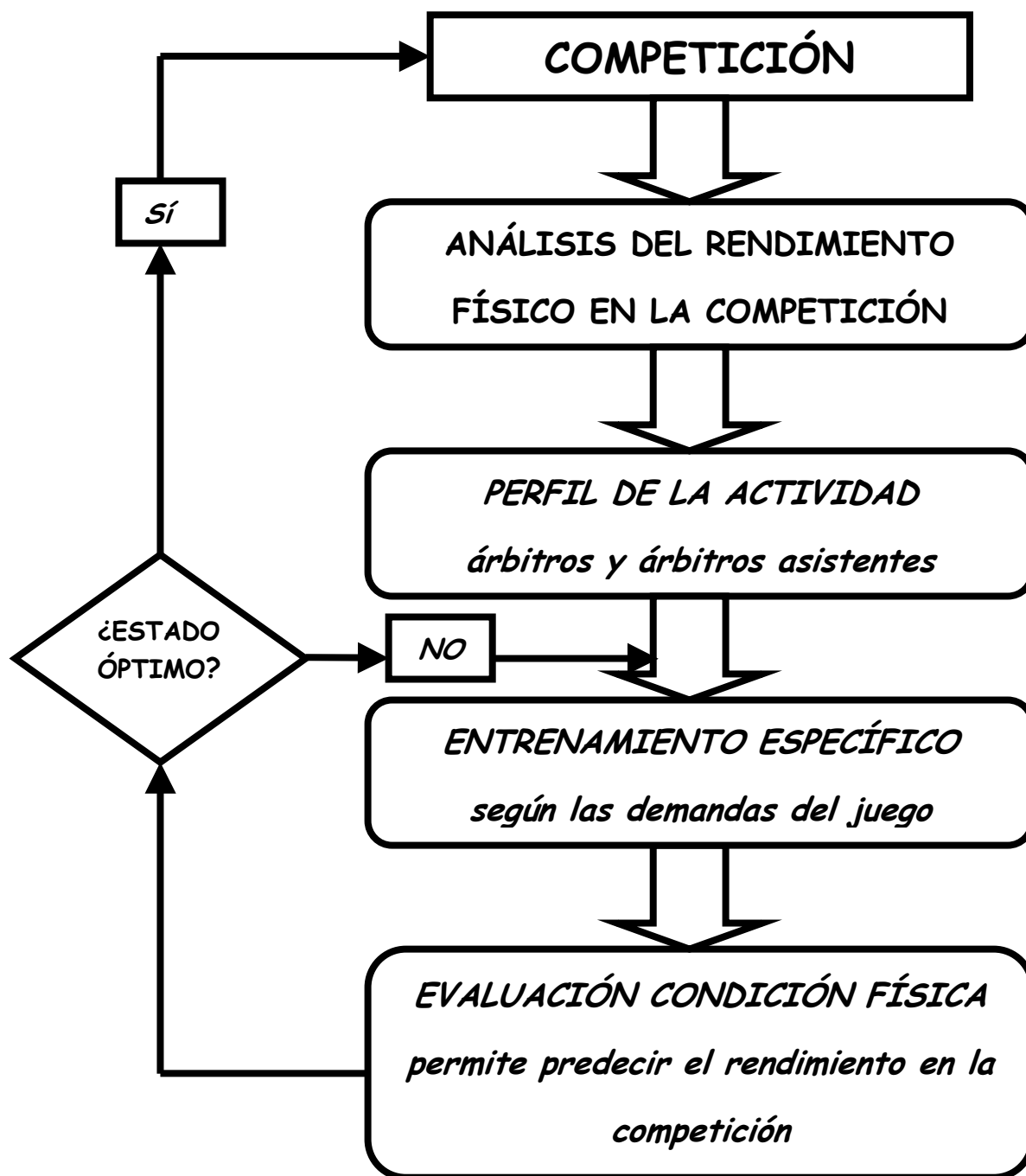


Figura 5.1 Esquematización del proceso llevado a cabo para la mejora del rendimiento en la competición de los jueces en relación a los resultados obtenidos en el análisis del juego.

5.2.1 Perfil de la actividad

En este apartado se hará referencia, de manera concisa, a los aspectos esenciales que caracterizan las demandas que experimentaron los árbitros y árbitros asistentes en los partidos analizados durante la investigación actual.

Con el objetivo de lograr una mejor comprensión de las distintas demandas cinemáticas y fisiológicas que experimentan cada grupo de jueces resulta adecuado establecer una comparación entre los distintos roles arbitrales. Estos aspectos pueden cobrar una cierta importancia de cara a determinar los aspectos críticos que delimitan el rendimiento de cada deportista, a partir de los cuales se pueden extraer consideraciones relativas a la individualización de los programas de entrenamiento y de las pruebas de evaluación de la condición física.

5.2.1.1 Árbitros

- La distancia recorrida durante los encuentros fue de 11.059 m.
- En los segundos tiempos de los partidos la distancia disminuyó ($p<0.01$) un 5,95% pasando de 5699 a 5360 m (tamaño del efecto: 0,69).
- La distancia máxima la lograban los árbitros en los 15 primeros minutos del partido. Esta distancia fue superior a la recorrida en el intervalo de minutos 46-60 ($p<0.05$; 0,84) y 61-75 y 76-90 ($p<0.01$).
- El período de mayor actividad ocurría entre los minutos 6 y 10 del primer tiempo mientras que el de menor movilidad se daba en el intervalo de minutos 81-85.

- Aproximadamente el 30% de la distancia la recorrían los árbitros a bajas velocidades, un 33% a intensidades medias y el 37% restante a una elevada velocidad.
- En relación al tiempo de juego, los esfuerzos de baja intensidad ocupaban el 58% del tiempo total, con un 25% empleado en acciones de media intensidad y el restante 17% para esfuerzos a una alta velocidad.
- El 15% de la distancia total (18% del tiempo total de juego) se recorría en forma de desplazamientos de espalda.
- En el segundo tiempo de los partidos los árbitros permanecían más tiempo parados ($p<0.05$; 0,49) y disminuyeron la distancia cubierta corriendo ($p<0.05$; 0,87), sprintando ($p<0.05$; 0,38) y en forma de carrera de espalda ($p<0.001$; 1,70).
- La distancia total recorrida a una alta intensidad (por encima de 3,6 m/s o 13 km/h) fue de 4.089 m disminuyendo ($p<0.01$; 0,85) entre períodos un 14,81%. El tiempo en esta categoría de esfuerzos ocupaba el 16,77% del partido.
- La máxima distancia en esta categoría se lograba en el cuarto de hora inicial del partido. Este valor fue superior ($p<0.01$; 2,63) al logrado en los 15 primeros minutos del segundo período.
- Tras el intervalo de 5 min en el que el árbitro lograba la máxima cantidad de ejercicio de alta intensidad, en los siguientes 5 min disminuía ($p<0.05$) un 7,91% la cantidad de ejercicio intenso en relación a la media del partido.
- La distancia media a la señalización de las infracciones fue de 16,46 m. En la zona de ataque izquierda la distancia a las infracciones aumentó ($p<0.05$; 0,61) entre períodos.
- La FC_{med} durante los partidos fue de 157,3 p/min (83,36% de la $FC_{máx}$). Se observó una disminución ($p<0.05$; 0,82) entre períodos (160 vs. 155 p/min).

- Los registros más altos de frecuencia cardíaca se lograban en los primeros 15 min de los encuentros. Este valor fue superior ($p < 0.001$; 2,63) al logrado en el cuarto de hora posterior al descanso.
- Sobre el tiempo total de juego, en un 20% del mismo los árbitros estuvieron ejercitándose a menos del 75% de su $FC_{\text{máx}}$. Durante el 39%, los esfuerzos fueron de media intensidad (76-85% de la $FC_{\text{máx}}$) mientras que en el 41% restante la sollicitación cardíaca se elevaba por encima del 85% de la $FC_{\text{máx}}$.
- En los segundos períodos de los encuentros los árbitros aumentaban ($p < 0,05$; 1,15) el tiempo empleado en esfuerzos entre el 66-75% de la $FC_{\text{máx}}$ mientras que disminuía ($p < 0.001$; 2,54) el tiempo empleado por encima del 95% de la $FC_{\text{máx}}$.
- La distancia media recorrida por los árbitros en la prueba de carrera de los 12 min fue de 2.996 m. Este valor no se relacionó significativamente ni con la distancia total recorrida durante los partidos ($r = 0,23$; $p > 0.05$) ni con la distancia recorrida a una elevada intensidad ($r = 0,24$; $p > 0.05$).
- El tiempo medio empleado en completar la prueba de carrera de 200 m fue de 28,5 s. Este registro no tuvo una relación significativa con la cantidad de ejercicio de alta intensidad realizada ($r = -0,23$; $p > 0.05$).
- La prueba de carrera de 50 m tuvo un registro medio de 6,98 s. Este valor no se relacionó significativamente ($r = -0,25$; $p > 0.05$) con la distancia recorrida en esfuerzos realizados a la máxima intensidad.

5.2.1.2 Árbitros asistentes

- La distancia recorrida por los árbitros asistentes durante los encuentros fue de 6.137 m.
- Se pudo constatar un descenso ($p<0.01$; tamaño del efecto: 0,70) del 6,95% en la distancia recorrida entre ambos períodos de juego (3179 vs. 2958 m).
- La máxima distancia recorrida se alcanzó en los primeros 15 min del partido, siendo este valor superior ($p<0.05$; 0,60) al del cuarto de hora que sucedía al descanso. El pico de mayor actividad se lograba entre los minutos 6 y 10 de partido.
- El 49% de la distancia total recorrida por los árbitros asistentes se realizaba a una baja intensidad, un 31% a una media intensidad y el restante 20% representaba los esfuerzos a velocidades elevadas.
- En relación al tiempo de juego, los árbitros asistentes estuvieron el 81% del partido parados o andando, el 14% trotando y el 5% restante a una alta intensidad.
- De la distancia total recorrida, el 32% se realizaba en forma de desplazamientos laterales representando el 46% del tiempo de partido.
- En los segundos períodos de los partidos aumentaba ($p<0.01$; 0,70) el tiempo en el que los árbitros asistentes estaban parados mientras que disminuía la distancia recorrida trotando ($p<0.01$; 0,62), corriendo ($p<0.05$; 0,53) y en forma de desplazamientos laterales ($p<0.001$; 1,46).
- La distancia recorrida a una alta intensidad durante los encuentros fue de 1.226 m observándose un descenso ($p>0.05$; 0,43) del 13,33% en los últimos 45 min. La distancia recorrida a una elevada intensidad en los primeros 15 min del partido fue superior ($p=0,06$; 0,49) a la conseguida en el cuarto de hora posterior a la reanudación del juego.

- La distancia media de los árbitros asistentes a la línea del fuera de juego en el momento en el que se indicaban los mismos fue de 1,36 m, sin observarse diferencias significativas entre períodos.
- La FC_{med} fue de 145 p/min (77% de la $FC_{máx}$). Se pudo apreciar un descenso ($p<0.01$; 0,62) de la FC_{med} en los segundos 45 min en relación al primer período (147 a 143 p/min).
- En el cuarto de hora inicial se logró la máxima FC_{med} de todo el encuentro siendo este valor superior ($p<0.001$; 0,89) al registrado en los primeros 15 min del segundo período.
- El 35% de los partidos los árbitros asistentes estuvieron trabajando por debajo del 75% de su $FC_{máx}$, mientras que los esfuerzos de intensidad media (76-85%) ocurrieron durante el 43%. Los períodos de mayor exigencia cardiovascular, por encima del 85% de la $FC_{máx}$, representaron el 22% restante.
- En los segundos períodos los árbitros asistentes disminuyeron el tiempo en esfuerzos a una alta ($p<0.001$; 0,94) y máxima ($p<0.001$; 0,62) intensidad, mientras que aumentaron la estancia en las categorías de “recuperación activa” ($p<0.01$; 0,68) y de “recuperación pasiva” ($p=0.06$; 0,45).
- La distancia media lograda en la prueba de carrera de 12 min fue de 2.962 m registro que no se correlacionó significativamente ni con la distancia total recorrida durante los partidos ($r=0,24$, $p>0.05$) ni con la cantidad de ejercicio realizado a una alta intensidad ($r=0,35$; $p>0.05$), aunque sí con la distancia recorrida a una máxima intensidad ($r=0,48$; $p<0.05$).
- El tiempo medio en completar la prueba de carrera de 50 m fue de 6,89 s. La marca conseguida en esta prueba no mostró una relación significativa con la distancia recorrida a la máxima intensidad durante los partidos ($r=-$

0,38; $p=0.069$), aunque sí con el tiempo empleado en esta categoría de esfuerzos ($r=-0,41$; $p<0.05$).

5.2.1.3 Árbitros vs. árbitros asistentes

- La distancia cubierta por los árbitros durante los encuentros excedía ($p<0.001$; tamaño del efecto: 6,19) en un 80% la recorrida por los árbitros asistentes (11059 vs. 6137 m).
- El perfil de esfuerzo de los dos grupos de deportistas resultaba ser bastante distinto puesto que, mientras los árbitros asistentes permanecían más tiempo parados en el transcurso de los partidos ($p<0.001$; 7,74), eran los árbitros los que recorrían distancias superiores ($p<0.001$) andando (4,05), trotando (4,41), corriendo (5,53) y sprintando (3,40).
- El estudio de la frecuencia cardiaca permitió complementar las anteriores observaciones ya que la FC_{med} de los árbitros fue superior ($p<0.001$; 1,71) a la de los árbitros asistentes.
- En relación a las categorías de intensidad los árbitros asistentes superaban a los árbitros en los esfuerzos por debajo del 85% de la FC_{max} (en la categoría de “recuperación activa” las diferencias fueron significativas al nivel $p<0.01$; 1,09). Por el contrario, los árbitros presentaban estancias mayores en las categorías de alta ($p<0.01$; 1,17) y máxima ($p<0.001$; 2,67) intensidad.

5.2.2 Entrenamiento

Este trabajo de investigación ha permitido desarrollar un patrón del comportamiento cinemático de los árbitros y árbitros asistentes durante la competición en el fútbol. Al mismo tiempo, ha constatado cómo, tanto los árbitros como los árbitros asistentes, experimentan un deterioro del rendimiento físico en el transcurso de los partidos.

Resulta necesario, por lo tanto, establecer sistemas de entrenamiento específicos a las demandas que los jueces experimentan durante el juego en un intento por prevenir la aparición de fatiga o, cuanto menos, retardar el desarrollo de la misma. El objetivo del proceso de entrenamiento es conseguir adaptaciones en el deportista que se transformen en mejoras en el rendimiento durante la competición. Para ello el estímulo de entrenamiento debe ser lo más específico posible a la actividad competitiva. Otra regla básica del entrenamiento deportivo es que se debe intentar lograr los máximos beneficios invirtiendo el mínimo tiempo en ello, es decir, optimizar al máximo la preparación de los deportistas.

Durante los últimos años se han publicado diversos artículos en la literatura internacional (Krustrup & Bangsbo, 2001; Helgerud *et al.*, 2001; Weston *et al.*, 2004; Dupont *et al.*, 2004) que describen programas de entrenamiento aeróbicos que se han mostrado efectivos para los árbitros y los futbolistas. En términos prácticos estos programas repercutían en una mayor distancia recorrida, en el aumento de la frecuencia de acciones máximas, una mejora de la economía de carrera o en una menor FC_{med} durante los encuentros.

Hoff (2005) y Stolen *et al.* (2005) coinciden en señalar que los programas de entrenamiento de la potencia aeróbica deben centrarse en la mejora del volumen sistólico ya este parámetro parece ser el que limita el rendimiento en los deportistas entrenados. Stolen *et al.* (2005) sugieren el empleo de métodos interválicos, con esfuerzos de 3-8 min al 90-95% de la $FC_{máx}$ alternados con fases de recuperación activa al, aproximadamente, 70% de la $FC_{máx}$. Estos autores registraron una mejora de 6 ml/kg/min (de 60 a 66 ml/kg/min) en un equipo de élite noruego que realizaba 2 sesiones de entrenamiento por semana con este régimen de esfuerzos durante 35 minutos hasta completar un período de 8 semanas. Hoff (2005) justifica la utilización de series de trabajo de 3-8 min puesto que, normalmente, el corazón tarda 1-2 min en alcanzar su máximo rendimiento. La intensidad de trabajo durante estas series excede el umbral anaeróbico, de manera que las fases de trabajo a menor intensidad pretenden aclarar la cantidad de lactato generado anteriormente. En cuanto a la frecuencia semanal de las sesiones intermitentes de alta intensidad Krstrup & Bangsbo (2001), Helgerud *et al.* (2001) y Weston *et al.* (2004) coinciden en que no deben hacerse más de 2-3 sesiones por semana, sobre todo en el período competitivo.

Para prevenir o retardar la aparición de episodios de fatiga transitoria durante el juego, sería interesante diseñar sesiones de entrenamiento que presenten el objetivo de mejorar la resistencia a la velocidad de los jueces. No existen referencias en la literatura internacional sobre el empleo de este tipo de contenidos en el entrenamiento de los árbitros, por lo que se requiere de estudios experimentales en este sentido.

Existe una cualidad física fundamental, como es la fuerza, de la que no existe ninguna mención en los textos en relación a los árbitros y los árbitros asistentes.

Resulta cuanto menos sorprendente que el desarrollo y la evaluación de la fuerza no figure en los manuales de entrenamiento de los árbitros cuando se ha podido demostrar que las exigencias que soportan los jueces durante el juego son muy similares a las que experimentan los jugadores, a excepción de que no intervienen con el balón ni contactan con los adversarios.

El entrenamiento de la fuerza se antoja fundamental en el fútbol con dos objetivos fundamentales en relación a este colectivo de futbolistas: prevenir o reducir el número de lesiones y mejorar la realización de las acciones específicas durante el juego (aceleraciones, deceleraciones, cambios de dirección, cambios de ritmo, etc.).

De modo general, los objetivos fundamentales que deben contener los programas de entrenamiento dirigidos hacia los árbitros y árbitros asistentes serían:

- (i) Mejorar la capacidad para realizar esfuerzos (cortos) lo más rápido posible, en definitiva, ser más rápido.
- (ii) Incrementar la habilidad de realizar ejercicio intenso durante un período de tiempo prolongado, mejorando la recuperación entre los esfuerzos.
- (iii) Aumentar la capacidad para realizar ejercicio intermitente de larga duración evitando la aparición de fatiga en los segundos tiempos de los partidos.
- (iv) Optimizar los niveles de fuerza para prevenir la aparición de lesiones y evitar la involución de la flexibilidad.

5.2.3 Evaluación

El proceso de evaluación de la condición física de un deportista presenta el objetivo de establecer un juicio crítico sobre su estado de forma. La situación ideal sería el empleo de pruebas físicas que se relacionen con el rendimiento de los deportistas en la competición, de manera que los resultados obtenidos ayuden a predecir el rendimiento en la misma, reduciendo incertidumbre en el proceso de entrenamiento deportivo.

De un modo teórico, este proceso podría componerse de dos partes diferenciadas: una evaluación básica en campo y otra complementaria en laboratorio. La primera de las partes constaría de la realización de pruebas físicas en campo con el objetivo de evaluar la capacidad del deportista para realizar ejercicio intermitente de alta intensidad de manera prolongada y la habilidad para ejecutar esfuerzos de intensidad máxima repetidamente. Esta última prueba podría, a su vez, servir para valorar la capacidad de aceleración tomando en consideración el mejor registro sobre la distancia estudiada.

Este sería el protocolo básico de pruebas a suministrar a los deportistas de manera periódica durante la temporada. En caso de que fuese posible se podría profundizar la evaluación con una prueba de esfuerzo máxima sobre tapiz rodante en laboratorio, para determinar la potencia y capacidad aeróbica del sujeto, y una evaluación de la fuerza explosiva utilizando una plataforma de fuerzas.

Con esta estructura de trabajo (Figura 5.4) se pretendía generar un conocimiento exhaustivo del estado condicional del deportista para intentar mejorar la predicción

de su rendimiento en la competición y para prescribir planes de entrenamiento en concordancia con su estado físico en las distintas fases de la temporada.

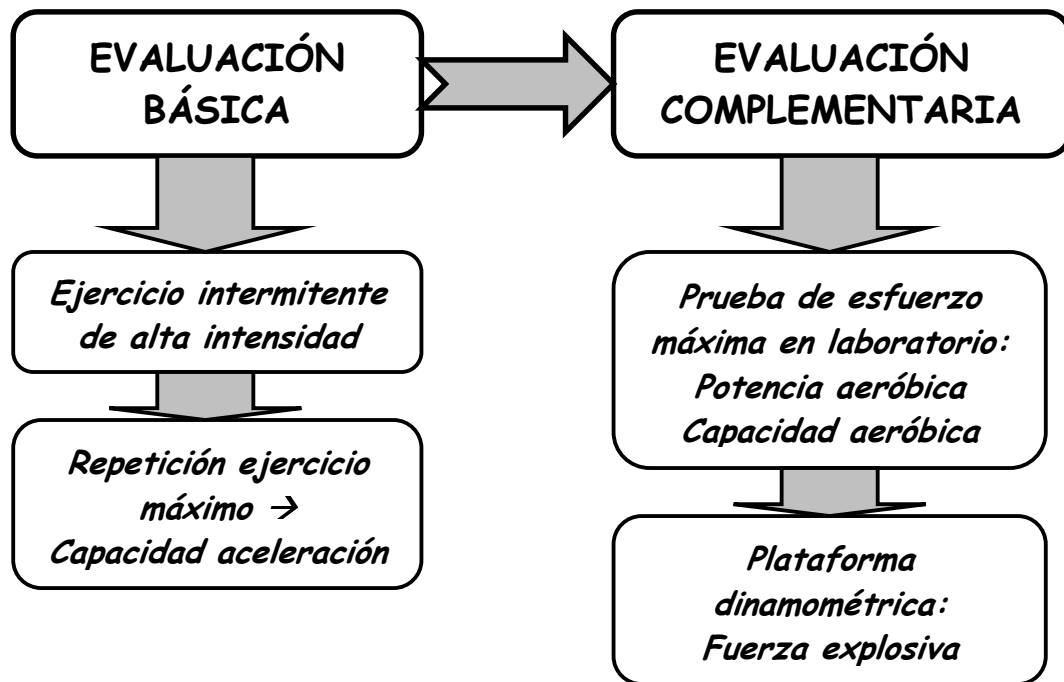


Figura 5.5 Esquema teórico de la propuesta para la evaluación de la condición física de los árbitros y los árbitros asistentes.

Existen muchos tests descritos en la bibliografía para la evaluación de las distintas capacidades físicas de los deportistas pero, para que un test sea válido para un deporte, el resultado en el test debe relacionarse con el rendimiento en la competición. En el fútbol, en muchos casos, los resultados de las pruebas no se han relacionado ni con el rendimiento individual ni con el ejercicio intermitente de larga duración ni con el propio juego (Bangsbo & Linquist, 1992a).

Actualmente, la prueba de la que existe una mayor relevancia científica sobre su uso es el test de recuperación intermitente en forma de yoyo ("Yo-yo Intermittent Recovery Test", YYIRT) descrito por Bangsbo (1994b). En el año 2003 (Krustrup et

al., 2003a) se realizó un amplio trabajo para analizar la respuesta fisiológica, la fiabilidad y la validez de esta prueba. Esta prueba ha mostrado una relación positiva con el rendimiento en la competición de los árbitros (Krustrup & Bangsbo, 2001) y de los futbolistas de género masculino (Krustrup *et al.*, 2003a) y femenino (Krustrup *et al.*, 2003b).

Además de la distancia total recorrida durante la prueba la realización del test con un pulsómetro puede permitir reflejar la adaptación de la frecuencia cardiaca al entrenamiento. Bangsbo & Michalsik (2001) y Krustrup *et al.* (2003a) han señalado cómo los futbolistas tenían menores frecuencias cardiacas durante la realización de la prueba, después de un período de entrenamiento. Para ello se han aplicado versiones submáximas de este tipo de pruebas (Mohr *et al.*, 2004a) en la que se toma como criterio para interpretar la prueba la frecuencia cardiaca a los 6 y 9 min de iniciar la misma. De este modo se evita llevar al deportista a una situación de agotamiento y resulta más aplicable la prueba durante los microciclos de entrenamiento y en los días previos a un partido de competición.

Entre las ventajas que se le pueden conceder a esta prueba están la posibilidad de aplicarla en un amplio número de sujetos a la vez, no requerir de material de laboratorio sofisticado, poder realizar sobre un campo de fútbol, existencia de literatura científica que avala su validez y aplicación en deportistas de alto nivel, etc. por lo que se trata de la más recomendada, a día de hoy, para aplicar a la evaluación de la condición física de los árbitros. En el caso de los árbitros asistentes no existe aún ningún estudio que avale su utilización aunque tampoco lo hay de ninguna otra prueba física, de ahí que se requiera más investigación al respecto.

5.3 Propuestas de futuro

El trabajo actual ha abierto una nueva línea de investigación para optimizar el rendimiento de los árbitros y árbitros asistentes en el deporte del fútbol. En cualquier caso son necesarios más estudios experimentales con muestras de jueces que permitan desarrollar sistemas de entrenamiento adaptados al perfil de rendimiento físico y pruebas objetivas para la valoración de la condición física.

La utilización de técnicas de análisis biomecánico en dos dimensiones se ha mostrado efectiva para aportar una información completa y precisa sobre los movimientos realizados por los árbitros y árbitros asistentes por lo que se justificaría:

- El empleo de esta técnica experimental en campeonatos para evaluar objetivamente el rendimiento técnico de los jueces: posicionamiento correcto, distancias a las infracciones, etc. proporcionando información a los árbitros a las pocas horas de finalizar el partido (feedback a corto plazo).
- La aplicación de esta metodología en entrenamientos, partidos o torneos de fútbol para evaluar objetivamente el rendimiento físico (feedback a medio plazo).

Esta estrategia es la seguida en los últimos años por el Laboratorio de Biomecánica Deportiva de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de Madrid en colaboración con el Departamento de Arbitraje de la Federación Internacional de Fútbol Asociado. Después del trabajo inicial realizado en Finlandia en el año 2003

esta línea de investigación se ha empleado también en la Copa de las Confederaciones organizada por la FIFA en Alemania en junio del año 2005. De este modo se ha pretendido generar un seguimiento del rendimiento físico y técnico de los jueces a medio y largo plazo en el intento por mejorar la prestación competitiva de los árbitros y árbitros asistentes en los eventos de gran relevancia deportiva. Todo este proceso se puede sincronizar con el registro de parámetros fisiológicos durante los partidos (por ejemplo, la monitorización de la respuesta de la frecuencia cardíaca) para complementar así el conocimiento de las demandas suscitadas por la competición.

Capítulo 6.

BIBLIOGRAFÍA



1. ABDEL-AZIZ, Y.I. & KARARA, H.M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into space coordinates in close range photogrammetry. En *Proceedings of the Symposium on Close Range Photogrammetry* (editado por la American Society of Photogrammetry). EE.UU.: Falls Church.
2. ACHTEN, J. & JEUKENDRUP, A. (2003). Heart rate monitoring: Applications and limitations. *Sports Medicine*, **33**, 517-538.
3. AGUADO, X. (1991). Cuantificación de los desplazamientos del jugador de hockey sobre patines en la competición. *Apunts: Educación Física i Esports*, **23**, 71-76.
4. AGUADO, X. & LLOVERAS, P. (1987). Estudi espacial de joc. El futbol sala per a cecs. *Apunts: Educación Física i Esports*, **9**, 65-70.
5. AGUADO, X. & RIERA, J. (1989). Mesura del treball del waterpolista durant la competició. *Apunts: Educación Física i Esports*, **15**, 4-9.
6. AGUADO, X., IZQUIERDO, M. & GONZÁLEZ, J.L. (1997). *Biomecánica fuera y dentro del laboratorio*. Universidad de León: Secretariado de Publicaciones.
7. ALI, A. & FARRALLY, M. (1991a). A computer-video aided time motion analysis technique for match analysis. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, **31**, 82-88.
8. ALI, A. & FARRALLY, M. (1991b). Recording soccer players' heart rates during matches. *Journal of Sports Sciences*, **9**, 183-189.
9. ALLARD, P., BLANCHI, J.P. & AÏSSAOUI, R. (1995). Bases of three-dimensional reconstruction. En *Three dimensional analysis of human movement* (editado por P. Allard, I.A.F. Stokes & J.P. Blanchi), pp. 19-40. Champaign, IL: Human Kinetics.

10. ALLEN, G.D. (1989). Activity patterns and physiological responses of elite touch players during competition. *Journal of Human Movement Studies*, **17**, 207-215.
11. ÁLVAREZ DEL VILLAR, C. (1983). *La preparación física en el fútbol basada en el atletismo*. Madrid: Gymnos.
12. ÁLVARO, J. (2002). *Modelos de planificación y programación en deportes de equipo*. Master en Alto Rendimiento Deportivo. Módulo 2.1.7. Comité Olímpico Español, Universidad Autónoma de Madrid.
13. ÁLVARO, J., BADILLO, J.J., GONZÁLEZ, J.L., NAVARRO, F., PORTOLÉS, J. & SÁNCHEZ, F. (1995). Modelo de análisis de los deportes colectivos basado en el rendimiento en competición. *Infocoes*, **1**, 21-40.
14. APOR, P. (1988). Successful formulae for fitness training. En *Science & Football* (editado por T. Reilly, A. Lees, K. Davids & W.J. Murphy), pp. 95-107. Londres: E & FN Spon.
15. ARDÁ, T. (1997). Estudio de las capacidades condicionales de futbolistas juveniles. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, **11 (3)**, 21-26.
16. ASAMI, T., TOGARI, H. & OHASHI, J. (1988). Analysis of movement patterns of referees during soccer matches. En *Science & Football* (editado por T. Reilly, A. Lees, K. Davids & W.J. Murphy), pp. 341-345. Londres: E & FN Spon.
17. ASMUSSEN, E. & BOJE, O. (1945). Body temperature and capacity for work. *Acta Physiologica Scandinavica*, **10**, 1-22.
18. ASTRAND, P.O. & RODAHL, K. (1986). *Textbook of work physiology*. Nueva York: McGraw-Hill.
19. ATKINSON, G. & NEVILL, A.M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Medicine*, **26**, 217-238.

20. AZIZ, A.R., CHIA, M. & TEH, K.C. (2000). The relationship between maximal oxygen uptake and repeated sprint performance indices in field hockey and soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, **40**, 195-200.
21. BACHEV, V., MARCOV, P., GEORGIEV, P. & ILIEV, M. (2003). About analysis of intensity of load during the soccer match. En *Book of abstracts of the Vth World Congress on Science & Football*, pp. 225. Madrid: Gymnos.
22. BAKER, J., RAMSBOTTOM, R. & HAZELDINE, R. (1993). Maximal shuttle running over 40 m as a measure of anaerobic performance. *British Journal of Sports Medicine*, **27**, 228-232.
23. BALSOM, P.D. (1993). Test de campo para evaluar la capacidad de aceleraciones repetidas de los jugadores de fútbol. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, **7 (2)**, 35-39.
24. BALSOM, P.D. (1994). Evaluation of physical performance. En *Football (soccer)* (editado por B. Ekblom), pp. 102-123. Oxford: Blackwell.
25. BALSOM, P.D. (2004). Monitorización de la frecuencia cardiaca. Ponencia presentada en el *IV Congreso Internacional de las Ciencias del Fútbol*. Madrid: Centro Médico Real Madrid C.F.
26. BALSOM, P.D., SEGER, J.Y., SJÖDIN, B. & EKBLOM, B. (1992a). Physiological responses to maximal intensity intermittent exercise. *European Journal of Applied Physiology*, **65**, 144-149.
27. BALSOM, P.D., SEGER, J.Y., SJÖDIN, B. & EKBLOM, B. (1992b). Maximal-intensity intermittent exercise: Effect of recovery duration. *International Journal of Sports Medicine*, **13 (7)**, 528-533.
28. BALSOM, P.D., EKBLOM, B., SÖDERLUND, K., SJÖDIN, B. & HULTMAN, E. (1993). Creatine supplementation and dynamic high-intensity intermittent exercise. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, **3**, 143-149.

29. BALSOM, P.D., GAITANOS, G.C., SÖDERLUND, K. & EKBLOM, B. (1999a). High-intensity exercise and muscle glycogen availability in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*, **165**, 337-345.
30. BALSOM, P.D., WOOD, K., OLSSON, P. & EKBLOM, B. (1999b). Carbohydrate intake and multiple sprint sports with special reference to football (soccer). *International Journal of Sports Medicine*, **20**, 48-52.
31. BANGSBO, J. (1994a). The physiology of soccer – with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, **151**, **supp. 619**.
32. BANGSBO, J. (1994b). *Fitness training in football: A scientific approach*. Bagsvaerd (Dinamarca):.HO+ Storm
33. BANGSBO, J. (1994c). Physiological demands. En *Football (soccer)* (editado por B. Ekblom), pp. 43-58. Oxford: Blackwell.
34. BANGSBO, J. (1994d). Energy demands in competitive soccer. *Journal of Sports Sciences*, **12**, S5-S12.
35. BANGSBO, J. (1994e). Requerimientos energéticos en el fútbol. En *Jornadas internacionales de medicina y fútbol premundial 94* (editado por el Instituto Vasco de Educación Física), pp. 65-77. Vitoria: IVEF.
36. BANGSBO, J. (1998a). The physiological profile of soccer players. *Sports Exercise and Injury*, **4**, 144-150.
37. BANGSBO, J. (1998b). Quantification of anaerobic energy production during intense exercise. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, **30**, 47-52.
38. BANGSBO, J. (2003). Integration of science in the training of elite football players. En *Book of abstracts of the Vth World Congress on Science & Football*, pp. 13. Madrid: Gymnos.
39. BANGSBO, J. (2004). Fatigue during a soccer match. Abstract de la comunicación presentada en el *Congreso Internacional The Rehabilitation of*

- Sports Muscle and Tendon Injuries*. Consulta realizada el 20-05-2005 de la World Wide Web: <http://www.isokinetic.com>
40. BANGSBO, J. & LINDQUIST, F. (1992). Comparison of various exercise tests with endurance performance during soccer in professional players. *International Journal of Sports Medicine*, **33**, 125-132.
 41. BANGSBO, J. & MICHALSIK, L. (2001). Assessment of the physiological capacity of elite soccer players. En *Science & Football IV* (editado por W. Spinks, T. Reilly & A. Murphy), pp. 53-62. Londres: Routledge.
 42. BANGSBO, J. & MIZUNO, M. (1988). Morphological and metabolic alterations in soccer players with detraining and retraining and their relation to performance. En *Science & Football* (editado por T. Reilly, A. Lees, K. Davids & W.J. Murphy), pp. 114-124. Londres: E & FN Spon.
 43. BANGSBO, J. & SALTIN, B. (1993). Recovery of muscle from exercise – its importance for subsequent performance. En *Intermittent high-intensity exercise: Preparations, limits and damage limitations* (editado por D.A.D. McLeod, R.J. Maughton, C. Williams, C.R. Madeley, J.C.M. Shaphard & R.W. Nutton), pp. 49-70; Londres: E & F.N. Spon.
 44. BANGSBO, J., NORREGAARD, L. & THORSO, F. (1991). Activity profile of competition soccer. *Canadian Journal of Sports Sciences*, **16**, 110-116.
 45. BANGSBO, J., GRAHAM, T.E., KIENS, B. & SALTIN, B. (1992a). Elevated muscle glycogen and anaerobic energy production during exhaustive exercise in man. *Journal of Physiology*, **451**, 205-227.
 46. BANGSBO, J., NORREGAARD, L. & THORSO, F. (1992b). The effect of carbohydrate diet on intermittent exercise performance. *International Journal of Sports Medicine*, **13**, 152-157.
 47. BANGSBO, J., JOHANSEN, L. & SALTIN, B. (1993a). The effect of exercise on fatigue and anaerobic energy production during subsequent intense

- exercise – the importance of active recovery. En *Science & Football II* (editado por T. Reilly, J. Clarys & A. Stibbe), pp. 107-113. Londres: E & FN Spon.
48. BANGSBO, J., MICHALSIK, L. & PETERSEN, A. (1993b). Accumulated O₂ deficit during intense exercise and muscle characteristics of elite athletes. *International Journal of Sports Medicine*, **14**, 207-213.
49. BANGSBO, J., MADSEN, K., KIENS, B. & RICHER, E.A. (1996). Effect of muscle acidity on muscle metabolism and fatigue during intense exercise in man. *Journal of Physiology*, **495**, 587-596.
50. BANGSBO, J., KRUSTRUP, P. & MOHR, M. (2004a). Physical capacity of high-level soccer players in relation to playing position. *Journal of Sport Sciences*, **22**, 523.
51. BANGSBO, J., MOHR, M. & KRUSTRUP, P. (2004b). Physical capacity and match performance of top-class football players referees in relation to age. *Journal of Sport Sciences*, **22**, 524.
52. BARBERO, J.C. (1998). El entrenamiento en los deportes de equipo basado en estudios biomecánicos (análisis cinemático) y fisiológicos (frecuencia cardiaca) de la competición. *Lecturas: Educación Física y Deporte*, **11**. Consulta realizada el 28-10-2001 de la World Wide Web: <http://www.efdeportes.com/efd11a/biomec.htm>.
53. BARBERO, J.C. & SOTO, V.M. (2002a). Análisis de los desplazamientos en los deportes de equipo mediante un sistema fotogramétrico. En *Libro de Comunicaciones del II Congreso de la Asociación Española de Ciencias del Deporte* (editado por la Asociación Española de Ciencias del Deporte), pp. 17-18. Madrid.
54. BARBERO, J.C. & SOTO, V.M. (2002b). Aplicación práctica de un sistema fotogramétrico para el análisis de los desplazamientos durante la competición en deportes de equipo. En *Libro de Comunicaciones del II Congreso de la*

- Asociación Española de Ciencias del Deporte* (editado por la Asociación Española de Ciencias del Deporte), pp. 18-19. Madrid.
55. BARBERO, J.C., SOTO, V. & GRANDA, J.J. (2003a). Design and validation of a photogrametric system for the kinematic evaluation in sport competition. En *Book of abstracts of the Vth World Congress on Science & Football*, pp. 244. Madrid: Gymnos.
 56. BARBERO, J.C., SOTO, V. & GRANDA, J.J. (2003b). Temporary analysis during match play in indoor soccer with pothogrammetric system. En *Book of abstracts of the Vth World Congress on Science & Football*, pp. 266. Madrid: Gymnos.
 57. BARBERO, J.C., SOTO, V. & GRANDA, J.J. (2004). Effort profiling during indoor soccer competition. *Journal of Sport Sciences*; **22**, 500-501.
 58. BARTLETT, R. (1997). *Introduction to sports biomechanics*. Londres: E & FN Spon.
 59. BARTLETT, R. (1999). *Sports biomechanics. Reducing injury and improving performance*. Londres: E & FN Spon.
 60. BARTLETT, R. (2000). *Performance analysis: Is it the bringing together of biomechanics and notational analysis or an illusion?* En *Proceedings of Oral Sessions, XIX International Symposium on Biomechanics in Sports* (editado por J.R. Blackwell), pp. 328-331. San Francisco: University of San Francisco.
 61. BAXTER-JONES, A.D.G., HELMS, P., MAFFULLI, N., BAINES-PREECE, J.C. & PREECE, M. (1995). Growth and development of male gymnasts, swimmers, soccer and tennis players: a longitudinal study. *Annals of Human Biology*, **22**, 381-394.
 62. BAYER, C. (1986). *La enseñanza de los juegos deportivos colectivos*. Barcelona: Hispano Europea.

63. BLAND, J.M. & ALTMAN, D.G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*, **1**, 307-310.
64. BLOOMFIELD, J., POLMAN, R. & O'DONOGHUE, P.G. (2004). Analysis of body composition of players of four major European leagues. *Journal of Sport Sciences*, **22**, 525-526.
65. BOMPA, T. (1983). *Theory and methodology of training*. Iowa (EE.UU.): Kendall/Hunt.
66. BOSCO, C. (1991). *Aspectos fisiológicos de la preparación física del futbolista*. Barcelona: Paidotribo.
67. BRADY, K., MAILE, A. & EWING, B. (1997). An investigation into the fitness of professional soccer players over two seasons. En *Science & Football III* (editado por T. Reilly, J. Bangsbo & M. Hughes), pp. 118-122. Londres: E & FN Spon.
68. BREWER, J. (1990). Changes in selected physiological characteristics of an English First Division soccer squad during a league season. *Journal of Sports Sciences*, **8**, 76-77.
69. BRICE, P., SMITH, N. & DYSON, R. (2003). Frequency of curvilinear motion during competitive soccer play. *Journal of Sports Sciences*, **22**, 502.
70. BRICK, N. & O'DONOGHUE, P.G. (2004). Fitness profiles of elite players in hurling and three football codes – soccer, rugby and Gaelic football. *Journal of Sports Sciences*, **22**, 526-527.
71. BRIKCI, A., HANIFI, R. & DEKKAR, N. (1995). Caractéristiques physiologiques du footballeur Algérien. *Cinésiologie*, **163**, 195-201.
72. BRODIE, D.A. (1981). *A movement analysis of association football referees*. Londres: The Football League.

73. BROOKS, G.A. (1985). Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **17**, 22-31.
74. BURWITZ, L., MOORE, P. & WILKINSON, D. (1994). Future directions for performance related sports science research: an interdisciplinary approach. *Journal of Sports Sciences*, **12**, 93-109.
75. CALDERÓN, J. (1996). Apuntes de la asignatura *Fisiología Humana*. INEF Madrid, UPM, curso académico 1996-97.
76. CALDERÓN, J. (2000). Apuntes de la asignatura *Valoración de la condición física*. En Curso de Doctorado *La actividad física y el deporte en relación al rendimiento y las instalaciones*. INEF Madrid, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, UPM, curso académico 1999-2000.
77. CAPRANICA, L., TESSITORE, A., GUIDETTI, L. & FIGURA, F. (2001). Heart rate and match analysis in pre-pubescent soccer players. *Journal of Sports Sciences*, **19**, 379-384.
78. CARLI, G., BONIFAZI, M., LODI, L., LUPO, C., MARTELLI, G. & VITI, A. (1986). Hormonal and metabolic effects following a football match. *International Journal of Sports Medicine*, **7**, 36-38.
79. CARVALHO, J., MAÇAS, V. & SAMPAIO, J. (2004a). Game activity profile of football referees according to different levels of competition. *Journal of Sport Sciences*, **22**, 502-503.
80. CARVALHO, C., RORIZ-DE-OLIVERA, P. & CARVALHO, A. (2004b). Analysis of different parameters of physical condition for footballers in relation to their positional role. *Journal of Sport Sciences*, **22**, 531-532.
81. CASAJÚS, J.A. (2001). Seasonal variation in fitness variables in professional soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, **41**, 463-469.

82. CASTAGNA, C. & ABT, G. (2003). Intermatch variation of match activity in elite Italian soccer referees. *Journal of Strength and Conditioning Research*, **17**, 388-392.
83. CASTAGNA, C. & D'OTTAVIO, S. (1999). Activity profile of elite soccer referees during competitive matches. *Journal of Sports Sciences*, **17**, 825.
84. CASTAGNA, C. & D'OTTAVIO, S. (2001). Effect of maximal aerobic power on match performance in elite soccer referees. *Journal of Strength and Conditioning Research*, **15**, 420-425.
85. CASTAGNA, C., ABT, G. & D'OTTAVIO, S. (2002a). Relation between fitness tests and match performance in elite Italian soccer referees. *Journal of Strength and Conditioning Research*, **16**, 231-235.
86. CASTAGNA, C., ABT, G. & D'OTTAVIO, S. (2002b). The relationship between selected blood lactate thresholds and match performance in elite soccer referees. *Journal of Strength and Conditioning Research*, **16**, 623-627.
87. CASTAGNA, C., ABT, G. & D'OTTAVIO, S. (2004a). Activity profile of international-level soccer referees during competitive matches. *Journal of Strength and Conditioning Research*, **18**, 486-490.
88. CASTAGNA, C., BELARDINELLI, R. & ABT, G. (2004b). Cardiorespiratory responses of provincial soccer players to a progressive maximal intermittent field test. *Journal of Sports Sciences*, **22**, 533.
89. CASTELLANO, J., MASAACH, J. & ZUBILLAGA, A. (1996). Cuantificación del esfuerzo físico del jugador de fútbol en competición. *El Entrenador Español*, 32-57.
90. CASTELO, J.F.F. (1999). *Fútbol. Estructura y dinámica del juego*. Barcelona: INDE.

91. CATTERALL, C., REILLY, T., ATKINSON, G. & COLDWELLS, A. (1993). Analysis of the work rates and heart rates of association football referees. *British Journal of Sports Medicine*, **27 (3)**, 193-196.
92. CAVANAGH, P.R. & WILLIAMS, K.R. (1982). The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **14**, 30-35.
93. ÇEÇEN AKSU, A., TURGAY, F. & DALIP, M. (2004). Effects of soccer training on the aerobic and anaerobic thresholds with an emphasis on lactate recovery. *Journal of Sport Sciences*, **22**, 533-534.
94. CHALLIS, J.H. & KERWIN, D.G. (1992). Accuracy assesment and control point configuration when using the DLT for photogrammetry. *Journal of Biomechanics*, **25**, 1053-1058.
95. CHAMARI, K., HACHANA, Y., KAOUECH, F., JEDDI, R., MOUSSA-CHAMARI, I. & WISLOFF, U. (2005). Endurance training and testing with the ball in young elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, **39**, 24-28.
96. CHAMOUX, A., FELLMANN, N., MOMBAERTS, E., CATILINA, P. & COUDERT, J. (1988). Football professionnel. Sur le terrain, suivi de l'entraînement par la frequence cardiaque et la lactatemie. *Médecine du Sport*, **62 (2)**, 88-93.
97. COMETTI, G., MAFFIULETTI, N.A., POUSSON, M., CHATARD, J.C. & MAFFULLI, N. (2001). Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, **22**, 44-51.
98. CONCONI, F., FERRARI, M., ZIGLIO, P.G., DROGHETTI, P. & CODECA, L. (1982). Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive test in runners. *Journal of Applied Physiology*, **52**, 869-873.

99. COX, G., MUJICA, I., TUMILTY, D. & BURKE, L. (2002). Acute creatine supplementation and performance during a field test simulating match play in elite female soccer players. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, **12**, 33-46.
100. COUTTS, A., REABURN, R., & ABT, G. (2003). Heart rate, blood lactate concentration and estimated energy expenditure in a semi-professional rugby league team during a match: a case study. *Journal of Sports Sciences*, **21**, 97-103.
101. D'OTTAVIO, S. (1998). El entrenamiento de la fuerza en el fútbol: consideraciones generales y medios de control. *Training fútbol*, **26**, 24-37.
102. D'OTTAVIO, S. & CASTAGNA, C. (1999a). Work rate and cardiovascular stress among elite soccer referees. *Journal of Sports Sciences*, **17**, 810.
103. D'OTTAVIO, S. & CASTAGNA, C. (1999b). Match-to-match variation in work rates among elite soccer referees. *Journal of Sports Sciences*, **17**, 826.
104. D'OTTAVIO, S. & CASTAGNA, C. (1999c). Activity profile of young soccer players during match-play. *Journal of Sports Sciences*, **17**, 826.
105. D'OTTAVIO, S. & CASTAGNA, C. (2001a). Physiological load imposed on elite soccer referees during actual match play. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, **41**, 27-32.
106. D'OTTAVIO, S. & CASTAGNA, C. (2001b). Analysis of match activities in elite soccer referees during actual match play. *Journal of Strength and Conditioning Research*, **15**, 167-171.
107. D'OTTAVIO, S. & CASTAGNA, C. (2001c). Activity profile of top level soccer referees during competitive matches. En *Science & Football IV* (editado por W. Spinks, T. Reilly & A. Murphy), pp. 151-156. Londres: Routledge.

108. D'OTTAVIO, S. & CASTAGNA, C. (2001d). Physiological aspects of soccer refereeing. En *Science & Football IV* (editado por W. Spinks, T. Reilly & A. Murphy), pp. 144-150. Londres: Routledge.
109. D'OTTAVIO, S. & TRANQUILLI, C. (1992). La prestazioni del giocatore di calcio. *Sds – Rivista di Cultura sportiva*, **24**, 74-78.
110. DAVIS, J.A., BREWER, J. & ATKIN, D. (1992). Pre-season physiological characteristics of English first and second Division soccer players. *Journal of Sports Sciences*, **10**, 541-546.
111. DAWSON, B., FITZSIMONS, M. & WARD, D. (1993). The relationship of repeated sprint ability to aerobic power and performance measures of anaerobic work capacity and power. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, **25**, 88-93.
112. DAWSON, B., HOPKINSON, R., APPLEBY, B., STEWART, G. & ROBERTS, C. (2004a). Player movement patterns and game activities in the Australian Football League. *Journal of Science and Medicine in Sport*, **7**, 278-291.
113. DAWSON, B., HOPKINSON, R., APPLEBY, B., STEWART, G. & ROBERTS, C. (2004b). Comparison of training activities and game demands in the Australian Football League. *Journal of Science and Medicine in Sport*, **7**, 292-301.
114. DENADAI, B., GOMIDE, E. & GRECO, C. (2003). Validity of the critical velocity to determine the maximal lactate steady state in soccer players. *Journal of Sport Sciences*, **22**, 538.
115. DEUTSCH, M.U., MAW, G.J., JENKINS, D. & REABURN, P. (1998). Heart rate, blood lactate and kinematic data of elite colts (under-19) rugby union players during competition. *Journal of Sports Sciences*, **16**, 561-570.
116. DEUTSCH, M.U., KEARNEY, G.A. & REHRER, N.J. (2001). A comparison of competition work rates in elite club and super-12 rugby. En *Science & Football*

- IV (editado por W. Spinks, T. Reilly & A. Murphy), pp. 160-166. Londres: Routledge.
117. DI PRAMPERO, P., CAPELLI, C., PAGLIARO, P., ANTONUTTO, G., GIRARDIS, M., ZAMPARO, P. & SOULE, R. (1993). Energetics of best performances in middle distance running. *Journal of Applied Physiology*, **74**, 2318-2324.
118. DOCHERTY, D., WENGER, H.A. & NEARY, P. (1988). Time-motion analysis related to the physiological demands of rugby. *Journal of Human Movement Studies*, **14**, 269-277.
119. DOMÍNGUEZ, E., PATIÑO, D., RAMALLO, R., RIVEIRO, J.E., RODRÍGUEZ, A. & VALVERDE, A. (1997). La estructura energética y condicional del fútbol. *El entrenador español*, **74**, 12-33.
120. DONSTOI, D. & ZATSIORSKI, V. (1988). *Biomecánica de los ejercicios físicos*. La Habana: Pueblo y Educación.
121. DOUGE, B. (1988). Football: the common threads between the games. En *Science & Football* (editado por T. Reilly, A. Lees, K. Davids & W.J. Murphy), pp. 3-19. Londres: E & FN Spon.
122. DOWSON, M.N., CRONIN, J.B. & PRESLAND, J.D. (2001). Anthropometric and physiological differences between gender and age groups of New Zealand national soccer players. En *Science & Football IV* (editado por W. Spinks, T. Reilly & A. Murphy), pp. 63-71. Londres: Routledge.
123. DRUST, B. & REILLY, T. (1997). Heart rate response of children during soccer play. En *Science & Football III* (editado por T. Reilly, J. Bangsbo & M. Hughes), pp. 196-200. Londres: E & FN Spon.
124. DRUST, B., ATKINSON, G., BORRIE, A., REILLY, T. & CABLE, N.T. (1997). Comparison of statistical procedures in the assessment of the repeatability and objectivity of motion-analysis systems. *Journal of Sports Sciences*, **15**, 27.

125. DRUST, B., REILLY, T. & CABLE, N.T. (2000). Physiological responses to laboratory-based soccer-specific intermittent and continuous exercise. *Journal of Sports Sciences*, **18**, 885-892.
126. DRUST, B., REILLY, T. & CABLE, N.T. (2001). Metabolic and physiological responses to a laboratory based soccer-specific intermittent protocol on a non-motorised treadmill. En *Science & Football IV* (editado por W. Spinks, T. Reilly & A. Murphy), pp. 217-225. Londres: Routledge.
127. DUFOUR, W. (1990). Las técnicas de observación del comportamiento motor fútbol. La observación tratada por ordenador. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, **IV (4)**, 16-24.
128. DUFOUR, W. (1993). Computer assisted scouting in soccer. En *Science & Football II* (editado por T. Reilly, J. Clarys & A. Stibbe), pp. 160-166. Londres: E & FN Spon.
129. DUMBAR, G.M.J. (2001). An examination of longitudinal changes in aerobic capacity through the playing year in English professional soccer players, as determined by lactate profiles. En *Science & Football IV* (editado por W. Spinks, T. Reilly & A. Murphy), pp. 72-75. Londres: Routledge.
130. DUMBAR, G.M.J. & POWER, K. (1997). Fitness profiles of English professional and semiprofessional soccer players using a battery of field tests. En *Science & Football III* (editado por T. Reilly, J. Bangsbo & M. Hughes), pp. 27-31. Londres: E & FN Spon.
131. DUMBAR, G.M.J. & TREASURE, D. (2004). An analysis of fitness profiles as a function of playing position and playing level in three English Premier League soccer clubs. *Journal of Sports Sciences*, **22**, 539-540.
132. DUNNING, E. (1994). The history of football (soccer). En *Football (soccer)* (editado por B. Ekblom), pp. 1-19. Oxford: Blackwell.

133. DUNNING, E. (2000). Football in the civilizing process. En *Soccer & Science – in an interdisciplinary perspective* (editado por J. Bangsbo), pp. 17-33. University of Copenhagen: Insititute of Exercise and Sport Sciences.
134. DUPONT, G., AKAKPO, K. & BERTHOIN, S. (2004). The effect of in-season, high-intensity interval training in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, **18**, 584-589.
135. DUTHIE, G., PYNE, D. & HOOPER, S. (2005). Time motion analysis of 2001 and 2002 super 12 rugby. *Journal of Sports Sciences*, **23**, 523-530.
136. EBINE, N., RAFAMANTANANTSOA, H.H., NAYUKI, Y., YAMANAKA, K., TASHIMA, K., ONO, T., SAYITO, S. & JONES, P.J.H. (2002). *Measurement of total energy expenditure by the doubly labelled water meted in profesional soccer players. Journal of Sports Sciences*, **20**, 391-397.
137. EDWARDS, A.M. & CLARK, N. (2004). A soccer-specific fitness test differentiates between first-team professional players and academy trainees. *Journal of Sports Sciences*, **22**, 540-541.
138. EDWARDS, A.M., MACFADYEN, A.M. & CLARK, N. (2003). Test performance indicators from a single soccer specific fitness test differentiate between highly trained and recreationally active soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, **43**, 14-20.
139. EKBLOM, B. (1986). Applied physiology of soccer. *Sports Medicine*, **3**, 50-60.
140. EKBLOM, B. (1993). Un test de campo para futbolistas. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, **7 (2)**, 40-43.
141. EISEMBERG, C., LANFRANCHI, P., MASON, T. & WAHL, A. (2004). *FIFA 1904-2004. Un siglo de fútbol*. Madrid: Pearson Educación.
142. EISSMANN, H.J. (1994). The referee. En *Football (soccer)* (editado por B. Ekblom), pp. 100-101. Oxford: Blackwell.

143. EISSMANN, H.J. & D'HOOGHE, M. (1996). Sports medical examinations. En *The 23rd man, sports medical advice for football referees* (editado por la Federación Internacional de Fútbol Asociado), pp. 7-19.
144. ERDMANN, W.S. (1993). Quantification of games – Preliminary kinematic investigations in soccer. En *Science & Football II* (editado por T. Reilly, J. Clarys & A. Stibbe), pp. 174-179. Londres: E & FN Spon.
145. FERNANDES, O. & CAIXINHA, P. (2004). A new method of time-motion analysis for soccer training and competition. *Journal of Sports Sciences*, **22**, 505.
146. FIFA (1989). *Physical fitness register for International referees*. Zurich: FIFA.
147. FIFA (1993). *Laws of the game and universal guide for referees*. Zurich: FIFA.
148. FIFA (1994). New physical fitness tests for referees. *FIFA News*, **2**. Zurich: FIFA.
149. FITZSIMONS, M., DAWSON, B., WARD, D. & WILKINSON, A. (1993). Cycling and running test of repeated sprint ability. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, **43**, 14-20.
150. FLANAGAN, T. & MERRIK, E. (2001). Quantifying the work-load of soccer players. En *Science & Football IV* (editado por W. Spinks, T. Reilly & A. Murphy), pp. 341-349. Londres: Routledge.
151. FLORIDA-JAMES, G. & REILLY, T. (1995). The physiological demands of Gaelic football. *British Journal of Sports Medicine*, **29**, 41-45.
152. FOSTER, C. (1989). Physiological testing: does it help the athlete? *The Physician and Sports Medicine*, **17 (10)**, 103-110.
153. FOX, S.I. (2003). *Fisiología Humana*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana.
154. FRANKS, I.M. (1993). The effect of experience on the detection and location of performance differences in a gymnastic technique. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, **64**, 227-231.

155. FRANKS, I.M. (2004). The need for feedback. En *Notational analysis of sport* (editado por M. Hughes & I.M. Franks), pp. 8-16. Londres: Routledge.
156. FRANKS, I.M. & GOODMAN, D. (1984). Computer assisted technical analysis of sport. *Coaching Review*, **Mayo/Junio**, 58-64.
157. FRANKS, I.M. & GOODMAN, D. (1986). A systematic approach to analysing sports performance. *Journal of Sports Sciences*, **4**, 49-59.
158. FRANKS, I.M. & McGARRY, T. (1996). The science of match analysis. En *Science and Soccer* (editado por T. Reilly), pp. 363-375. Londres: E & FN Spon.
159. FRANKS, I.M. & MILLER, G. (1986). Eyewitness testimony in sport. *Journal of Sport Behaviour*, **9**, 38-45.
160. FRANKS, I.M. & MILLER, G. (1991). Training coaches to observe and remember. *Journal of Sports Sciences*, **9**, 285-297.
161. FRANKS, I.M., WILSON, G.E. & GOODMAN, D. (1987). Analyzing a team sport with the aid of computers. *Canadian Journal of Sports Sciences*, **12**, 120-125.
162. GAL, B., LÓPEZ, M., MARTÍN, A.I. & PRIETO, J. (2001). *Bases de la Fisiología*. Madrid: Tébar.
163. GARCIA, F., DE LA FUENTE, B. & ARELLANO, R. (2001). Evaluación de las salidas en natación. Una aproximación cinemática y dinámica. En *Biomecánica y Deporte* (coordintado por J. Campos), pp. 67-86. Ayuntamiento de Valencia.
164. GARCÍA LÓPEZ, J. & RUBIO, I. (2004). *La velocidad en el fútbol*. Máster en Preparación Física del Fútbol, Asociación Española de Preparadores Físicos de Fútbol.
165. GARCÍA LOPEZ, J., VILLA, J.G., RODRIGUEZ, J.A., MORANTE, J.C., ALVAREZ, E. & JOVER, R. (2002). Aplicación de un test de esfuerzo

- interválico (Test de Probst) para valorar la cualidad aeróbica en futbolistas de la liga española. *Apunts: Educación Física y Deportes*, **71**, 80-88.
166. GARCÍA MANSO, J.M., NAVARRO, M. & RUIZ, J.A. (1996). *Pruebas para la valoración de la capacidad motriz en el deporte. Evaluación de la condición física*. Madrid: Gymnos.
 167. GARCÍA OCAÑA, F. & URIACH, M. (1994). Estudio de la frecuencia cardiaca del portero de fútbol en competición. *El entrenador español*, **61**, 53-58.
 168. GARGANTA, J. (2001). Análisis del juego en el fútbol. *Training Fútbol*, **64**, 14-26.
 169. GERHARDT, W. (1979). Más de 2000 años de historia. Sobre la colorida historia de un juego fascinante. *FIFA News*. Zurich: FIFA.
 170. GERISCH, G. & REICHELT, M. (1993). Computer- and video-aided analysis of football games. En *Science & Football II* (editado por T. Reilly, J. Clairys & A. Stibbe), pp. 167-173. Londres: E & FN Spon.
 171. GERISCH, G., RUTEMOLLER, E. & WEBER, K. (1988). Sportsmedical measurments of performance in soccer. En *Science & Football* (editado por T. Reilly, A. Lees, K. Davids & W.J. Murphy), pp. 60-67. Londres: E & FN Spon.
 172. GIAKAS, G. (2004). Power spectrum analysis and filtering. En *Innovative analyses of human movement* (editado por N. Stergiou), pp. 223-258. Champaign, IL: Human Kinetics.
 173. GISPERT, C. (1981). *Enciclopedia mundial del fútbol*. Barcelona: Océano.
 174. GODIK, M.A. & POPOV, A.V. (1993). *La preparación del futbolista*. Barcelona: Paidotribo.
 175. GOLESWORTHY, M. (1976). *The encyclopaedia of association football*. Londres: Robert Hale.
 176. GÓMEZ LOPEZ, M. (1999). Desarrollo y finalización de las acciones ofensivas: análisis comparativo de USA 94, Francia 98 y liga española 98-99.

- Lecturas: Educación Física y Deportes*, **17**. Consulta realizada el 28-10-2001 de la World Wide Web: <http://www.efdeportes.com>.
177. GONZÁLEZ BADILLO, J.J. (2002). *Métodos de análisis de la exigencia de la condición física en deportes*. Apuntes del módulo 2.2.6 del Máster en Alto Rendimiento Deportivo, Comité Olímpico Español, Universidad Autónoma de Madrid.
178. GOROSTIAGA, E. (1993). Bases científicas del fútbol: Aplicación al entrenamiento. *El entrenador español*, **56**, 37-47 y **57**, 29-36.
179. GOROSTIAGA, E. (2001). Aspectos fisiológicos en el fútbol, test de campo y el entrenamiento de la fuerza. Ponencia presentada en el *I Congreso Internacional de Preparados Físicos, Asociación Española de Preparadores Físicos de Fútbol*. Consulta realizada el 11-10-2002 de la World Wide Web: <http://www.futbolpreparadoresfisicos.com>
180. GRABINIER, M.D. (1993). *Current issues in biomechanics*. Champaign, IL: Human Kinetics.
181. GRANT, S., CORBETT, K., AMJAD, A.M., WILSON, J. & AITCHISON, T. (1995). A comparison of methods of predicting maximum oxygen uptake. *British Journal of Sports Medicine*, **29 (3)**, 147-152.
182. GRANT, A.G., WILLIAMS, A.M. & REILLY, T. (1999). An analysis of the successful teams in the 1998 World Cup. *Journal of Sports Sciences*, **17**, 827.
183. GREEN, H., BISHOP, P., HOUSTON, M., McKILLOP, R., NORMAN, R. & STOTHART, P. (1976). Time-motion and physiological assessments of ice hockey performance. *Journal of Applied Physiology*, **40**, 159-163.
184. GREHÁIGNE, J.F. (2001). *La organización del juego en el fútbol*. Barcelona: INDE.
185. GREMION, G. & COBELET, C. (1992). Seuil anaérobie et entraînement. *Médecine du Sport*, **66**, 7-13.

186. GROSSER, M. (1992). *Entrenamiento de la velocidad*. Barcelona: Martínez Roca.
187. GROSSER, M. & STARISCHKA, S. (1988). *Test de la condición física*. Barcelona: Martínez Roca.
188. GROSSER, M., STARISCHKA, S. & ZIMMERMANN, E. (1988). *Principios del entrenamiento deportivo. Teoría y práctica de todas las especialidades deportivas*. Barcelona: Martínez Roca.
189. GUTIÉRREZ DÁVILA, M. (1998). *Biomecánica deportiva*. Madrid: Síntesis.
190. GUYTON, A.C. (1987). *Fisiología Humana*. Méjico D. F.: Interamericana.
191. HAGERMAN, P.S. (2004). Aerobic endurance training program design. En *NSCA's essentials of personal training* (editado por R.W. Earle & T.R. Baechle), pp. 399-423. Champaign, IL: Human Kinetics.
192. HALL, S.J. (1999). *Basic Biomechanics*. Singapur: McGraw-Hill.
193. HARLEY, R.A., BANKS, R. & DOUST, J. (2001a). The development of a task specific fitness test for association football referees. En *Science & Football IV* (editado por W. Spinks, T. Reilly & A. Murphy), pp. 76-80. Londres: Routledge.
194. HARLEY, R.A., TOZER, K. & DOUST, J. (2001b). An analysis of movement patterns and physiological strain in relation to optimal positioning of association football referees. En *Science & Football IV* (editado por W. Spinks, T. Reilly & A. Murphy), pp. 137-143. Londres: Routledge.
195. HAY, J.G. & REID, J.G. (1982). *The anatomical and mechanical bases of human motion*. Nueva Jersey: Prentice-Hall.
196. HELGERUD, J., ENGEN, L.C., WISLOFF, U. & HOFF, J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **33**, 1925-1931.

197. HELSEN, W. & BULTYNCK, J.B. (2004). Physical and perceptual-cognitive demands of top-class refereeing in association football. *Journal of Sports Sciences*, **22**, 179-189.
198. HERNÁNDEZ MORENO, J. (1987). La estructura funcional de los deportes de equipo. *Apunts: Educación Física y Deportes*, **7**, 26-34.
199. HERNÁNDEZ MORENO, J. (1994). Análisis de las estructuras del juego deportivo. Barcelona: Inde.
200. HERNÁNDEZ MORENO, J. (1997). Cuantificación del espacio recorrido y el tiempo invertido para recorrerlo (ritmo) por el jugador de fútbol durante un encuentro. *El entrenador español*, **3**, 40-57.
201. HERNÁNDEZ MORENO, J. (2001). Análisis de los parámetros espacio y tiempo en el fútbol sala. La distancia recorrida, el ritmo y la dirección del desplazamiento del jugador en la competición. *Apunts: Educación Física y Deportes*, **65**, 32-44.
202. HILLIS, W.S. (1998). Preparations for the World Cup (editorial). *British Journal of Sports Medicine*, **32**, 95.
203. HOCHMUTH, G. (1973). Biomecánica de los movimientos deportivos. Madrid: Instituto Nacional de Educación Física.
204. HOFF, J. (2005). Training and testing physical capacity for elite soccer players. *Journal of Sports Sciences*, **23**, 573-582.
205. HOFF, J. & HELGERUD, J. (2004). Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations. *Sports Medicine*, **34**, 165-180.
206. HOFF, J., WISLOFF, U., ENGEN, L.C., KEMI, O.J. & HELGERUD, J. (2002). Soccer specific aerobic endurance training. *British Journal of Sports Medicine*, **36**, 218-221.

207. HOLZER, C., HARTMANN, U., BEETZ, M. & VON DER GRUN, T. (2003). Match analysis by transmitter position measurement. En *Book of abstracts of the Vth World Congress on Science & Football*, pp. 151. Madrid: Gymnos.
208. HUGHES, M. (1996). Notational analysis. En *Science and Soccer* (editado por T. Reilly), pp. 343-361. Londres: E & FN Spon.
209. HUGHES, M. & BARTLETT, R. (2004). The use of performance indicators in performance analysis. En *Notational analysis of sport* (editado por M. Hughes & I.M. Franks), pp. 166-188. Londres: Routledge.
210. HUGHES, M. & CHURCHILL, S. (2004). Attacking profiles of succesful and unsuccesful teams in Copa America 2001. *Journal of Sports Sciences*, **22**, 505.
211. HUGHES, M. & FRANKS, I.M. (editores) (2004a). *Notational analysis of sport*. Londres: Routledge.
212. HUGHES, M. & FRANKS, I.M. (2004b). Sports Analysis. En *Notational analysis of sport* (editado por M. Hughes & I.M. Franks), pp. 107-117. Londres: Routledge.
213. HUGHES, M. & FRANKS, I.M. (2004c). Notational analysis – a review of the literature. En *Notational analysis of sport* (editado por M. Hughes & I.M. Franks), pp. 59-106. Londres: Routledge.
214. HUGHES, M., FRANKS, I. & NAGELKERKE, P. (1989). A video-system for the quantitative motion analysis in competitive sport. *Journal of Human Movement Studies*, **15**, 217-227.
215. HUGHES, M., COOPER, S.M. & NEVILL, A. (2004). Analysis of notation data: reliability. En *Notational analysis of sport* (editado por M. Hughes & I.M. Franks), pp. 189-204. Londres: Routledge.
216. IBAÑEZ, J. & GOROSTIAGA, E. (2001). *Fisiología aplicada al Alto Rendimiento Deportivo*. Apuntes del módulo 5.5 del Master en Alto

- Rendimiento Deportivo, Comité Olímpico Español, Universidad Autónoma de Madrid.
217. IMPELLIZZERI, F., MOGNONI, P., SASSI, A. & RAMPININI, E. (2004a). Validity of a submaximal running test to evaluate aerobic fitness changes in soccer players. *Journal of Sports Sciences*, **22**, 547-548.
218. IMPELLIZZERI, F., RAMPININI, E., COUTTS, A.J., SASSI, A. & MARCORA, S.M. (2004b). Use of RPE-Based training load in soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **36**, 1042-1047.
219. IMPELLIZZERI, F., RAMPININI, E. & MARCORA, S. (2005). Physiological assessment of aerobic training in soccer. *Journal of Sports Sciences*, **23**, 583-592.
220. ISHII, T., MASUDA, T., KUROGI, H., SHUICHIROH, Y. & YAMAMOTO, H. (2002). The distance covered by soccer and rugby referees during the match using a mobile "GPS". En *Book of abstracts of the XXth International Symposium on Biomechanics in Sports*. Cáceres: ISBS.
221. ISLEGEN, C., ACAR, M.F., CEÇEN, A., ERDİNÇ, T., VAROL, R., TIRYAKI, G. & KARAMIZRAK, O. (1997). Effects of different pre-season preparations on lactate kinetics in professional soccer players. En *Science & Football III* (editado por T. Reilly, J. Bangsbo & M. Hughes), pp. 103-105. Londres: E & FN Spon.
222. ITO, K., ITO, M., WAKASUGI, R. & ASAMI, T. (2004). Effectiveness of changes to the laws of association football. *Journal of Sport Sciences*, **22**, 506-507.
223. JACOBS, I. (1986). Blood lactate. Implications for training and sports performance. *Sports Medicine*, **3**, 10-25.

224. JACOBS, I., WESTLIN, N., KARLSSON, J., RASMUSSEN, M. & HOUGHTON, B. (1982). Muscle glycogen and diet in elite soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, **48**, 297-302.
225. JIMÉNEZ, J., ESPINO, L., LÓPEZ, J.A. & CHAVARREN, J. (1997). Evolución de la condición física del futbolista durante la temporada. *El entrenador español*, 12-19.
226. JOHNSTON, L. & McNAUGHTON, L. (1994). The physiological requirements of soccer refereeing. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, **26**, 3/4, 67-72.
227. JORDET, G. (2002). *The difficulties in judging offside*. Consulta realizada el 20-01-2005 en la World Wide Web: <http://www.rps.as>.
228. KAN, A., SHIOKAWA, M., OKIHARA, K., SOON CHOI, C., USUI, S. & YANAGIHARA, T.D.E. (2004). The movement of players and the team: comparing two games, Japan versus UAE and a J-League game. *Journal of Sport Sciences*, **22**, 508-509.
229. KEANE, S., REILLY, T. & HUGHES, M. (1993). Analysis of work-rates in Gaelic Football. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, **25** (4), 100-102.
230. KEMI, O.J., HOFF, J., ENGEN, L.C., HELGERUD, J. & WISLOFF, U. (2003). Soccer specific testing of maximal oxygen uptake. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, **43**, 139-144.
231. KIRKENDALL, D.T., FOSTER, C., DEAN, J.A., GROGAN, J. & THOMPSON, N.N. (1988). Effect of glucose polymer supplementation on performance of soccer players. En *Science & Football* (editado por T. Reilly, A. Lees, K. Davids & W.J. Murphy), pp. 33-41. Londres: E & FN Spon.

232. KIRKENDALL, D.T., LEONARD, K. & GARRETT JR, W.E. (2004). On the relationship of fitness and running volume and intensity in female soccer players. *Journal of Sport Sciences*, **22**, 549-550.
233. KNOWLES, J.E. & BROOKE, J.D. (1974). A movement analysis of player behaviour in soccer match performance. *British Proceedings of Sports Psychology*, 246-456.
234. KOLLATH, E. & QUADE, K. (1993). Measurement of sprinting speed of professional and amateur soccer players. En *Science & Football II* (editado por T. Reilly, J. Clarys & A. Stibbe), pp. 31-36. Londres: E & FN Spon.
235. KRUSTRUP, P. & BANGSBO, J. (2001). Physiological demands of top-class refereeing in relation to physical capacity: effect of intense intermittent exercise training. *Journal of Sports Sciences*, **19**, 881-891.
236. KRUSTRUP, P., MOHR, M. & BANGSBO, J. (2002). Activity profile and physiological demands of top-class soccer assistant refereeing in relation to training status. *Journal of Sports Sciences*, **20**, 861-871.
237. KRUSTRUP, P., MOHR, M., AMSTRUP, T., RYSGAARD, T., JOHANSEN, J., STEENBERG, A., PEDERSEN, P.K. & BANGSBO, J. (2003a). The Yo-yo intermittent recovery test: physiological response, reliability, and validity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; **35**, 697-705.
238. KRUSTRUP, P., MOHR, M., AMSTRUP, T., RYSGAARD, T., JOHANSEN, J., STEENBERG, A., PEDERSEN, P.K. & BANGSBO, J. (2003b). The Yo-yo intermittent recovery test is highly reproducible, sensitive and valid. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **35**, 2120.
239. KRUSTRUP, P., MOHR, M., MacDONALD, C. & BANGSBO, J. (2004a). Training status and match performance of top-class football assistant referees in relation to age. *Journal of Sport Sciences*, **22**, 548-549.

240. KRUSTRUP, P., MOHR, M., STEENSBERG, A., BENCKE, J., KJAER, M. & BANGSBO, J. (2004b). Muscle metabolites during a football match in relation to a decreased sprint ability. *Journal of Sport Sciences*, **22**, 549.
241. KRUSTRUP, P., MOHR, M., ELLINGSGAARD, H. & BANGSBO, J. (2005). Physical demands during an elite female soccer game: Importance of training status. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **37**, 1242-1248.
242. LABSY, Z., COLLOMP, K., FREY, A. & DE CEAURRIZ, J. (2004). Assessment of maximal aerobic velocity in soccer players by means of an adapted Probst field test. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, **44**, 375-382.
243. LACOUR, J.R. & CHATARD, J.C. (1984). Aspects physiologiques du football. *Cinésiologie*, **23**, 123-130.
244. LAGO C. (2002). *La preparación física en el fútbol*. Biblioteca Nueva, Madrid.
245. LAWLOR, J., LOW, D., TAYLOR, S. & WILLIAMS, A.M. (2004). The FIFA World Cup 2002: an analysis of successful and unsuccessful teams. *Journal of Sports Sciences*, **22**, 510.
246. LÉGER, L.A. & BOUCHER, R. (1980). An indirect continuous running multistage field test: the universite de Montreal track test. *Canadian Journal of Applied Sports Sciences*, **5**, 77-84.
247. LÉGER, L.A. & LAMBERT, J. (1982). A maximal 20-m shuttle run test to predict VO_{2max} . *European Journal of Applied Physiology*, **49**, 1-12.
248. LÉGER, L.A., MERCIER, D., GADOURY, C. & LAMBERT, J. (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences*, **6**, 93-101.
249. LEMMINK, K.A.P.M., VERHEIJEN, R. & VISSCHER, C. (2004). The discriminative power of the Interval Shuttle Run Test and the Maximal Multistage Shuttle Run Test for playing level of soccer. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, **44**, 233-239.

250. LIEBERMANN, D.G. & FRANKS, I.M. (2004). The use of feedback-based technologies. En *Notational analysis of sport* (editado por M. Hughes & I.M. Franks), pp. 41-58. Londres: Routledge.
251. LÓPEZ CALBET, J.A. & GOROSTIAGA, E. (2002). *Evaluación del deportista de alto rendimiento deportivo*. Apuntes del módulo 5.6 del Máster en Alto Rendimiento Deportivo, Comité Olímpico Español, Universidad Autónoma de Madrid.
252. LÓPEZ CHICHARRO, J. & LEGIDO, J.C. (1991). *Umbral anaerobio. Bases fisiológicas y aplicaciones*. Barcelona: Interamericana, Mc Graw-Hill.
253. LUHTANEN, P.H., KORHONEN, V. & ILKKA, A. (1997). A new notational analysis system with special reference to the comparison of Brazil and its opponents in the World Cup 1994. En *Science & Football III* (editado por T. Reilly, J. Bangsbo & M. Hughes), pp. 229-232. Londres: E & FN Spon.
254. MACDONALD, R. (1977). *Soccer. A pictorial story*. Glasgow: William Collins Sons & Co.
255. MacDOUGAL, J.D., WENGER, H.A. & GREEN, A.J. (1991). *Physiological testing of the high-performance athlete*. Champaign, IL: Human Kinetics.
256. MAHLO, F. (1969). *La acción táctica en juego*. La Habana: Pueblo y Educación.
257. MALLO, J. (2001). *Análisis cinemático de la actividad del futbolista en la competición*. Trabajo de Suficiencia Investigadora. Universidad Politécnica de Madrid.
258. MALLO, J. & NAVARRO, E. (2004). Analysis of the load imposed on under-19 soccer players during typical football training drills. *Journal of Sports Sciences*, **22**, 510-511.
259. MALLO, J., MINETTI, A., NAVARRO, E. (2002). Análisis cinemático de la actividad del futbolista en la competición. En *Libro de Comunicaciones del II*

- Congreso de la Asociación Española de Ciencias del Deporte* (editado por la Asociación Española de Ciencias del Deporte), pp. 11-12. Madrid.
260. MALLO, J., GARCIA-ARANDA, J.M. & NAVARRO, E. (2004a). Análisis biomecánico aplicado a la valoración del rendimiento técnico del árbitro de fútbol. Comunicación presentada en el *III Congreso de la Asociación Española de Ciencias del Deporte*. Valencia.
261. MALLO, J., GARCIA-ARANDA, J.M. & NAVARRO, E. (2004b). Valoración de la condición física en el árbitro de fútbol: Relación con el rendimiento en la competición. Comunicación presentada en el *IV Congreso Internacional de las Ciencias del Fútbol*. Madrid: Centro Médico Real Madrid C.F.
262. MALLO, J., GARCIA-ARANDA, J.M. & NAVARRO, E. (2004c). Relación entre el rendimiento en la competición y las pruebas de valoración de la condición física en árbitros asistentes de fútbol. *Archivos de Medicina del Deporte*, **103**, 407.
263. MALLO, J., GARCIA-ARANDA, J.M. & NAVARRO, E. (2005). Optimización del rendimiento de los árbitros de fútbol con ayuda del análisis biomecánico. *Biomecánica*, **12 (2)**, 97-103.
264. MALOMSOKI, E.J. (1993). Physiological characterization of physical fitness of football players in field conditions. En *Science & Football II* (editado por T. Reilly, J. Clarys & A. Stibbe), pp. 81-85, Londres: E & FN Spon.
265. MARGARIA, R., AGHEMO, P. & ROVELLI, E. (1966). Measurement of muscular power (anaerobic) in man. *Journal of Applied Physiology*, **21**, 1662-1664.
266. MARRIOT, J., REILLY, T. & MILLES, A. (1993). The effect of physiological stress on cognitive performance in a simulation soccer. En *Science & Football II* (editado por T. Reilly, J. Clarys, A. Stibbe), pp. 261-264. Londres: E & F.N. Spon.

267. MARTÍN ACERO, R. (2001). *Metodología del entrenamiento para el desarrollo de la velocidad y la flexibilidad*. Apuntes del módulo 2.2.3 del Máster en Alto Rendimiento Deportivo, Comité Olímpico Español, Universidad Autónoma de Madrid.
268. MARTIN, J., SMITH, N.C., TOLFREY, K. & JONES, A.M. (2001). Activity analysis of English premiership rugby football union refereeing. *Ergonomics*, **44**, 1069-1075.
269. MARTINELLI, N. (2004). Technology keeping an eye on the ball. *Newsweek*, 10.
270. MARTÍNEZ, C. (1998). *Evaluación del rendimiento físico del árbitro de fútbol*. Tesis doctoral, Departamento de Organización, administración y estadística de Ingeniería Técnica, Universidad Politécnica de Madrid.
271. MARTÍNEZ, V. (2001). *Historia y estadística del fútbol español. Primera parte: De los inicios a los Juegos de Amberes (1920)*. Barcelona: Martínez Calatrava.
272. MASAACH, J. (1992). Valoración y control del trabajo aeróbico-anaeróbico del jugador de fútbol. *El entrenador español*, **53**, 38-51, **54**, 46-55 y **55**, 38-44.
273. MASAACH, J. (2004). *Estructura condicional del juego del fútbol y evaluación de la condición física como base de la metodología de la preparación física*. Máster Universitario de Preparación Física en Fútbol, Facultad de Ciencias del Deporte, Universidad de Castilla La Mancha.
274. MATKOVIC, B.R., JANKOVIC, S. & HEIMER, S. (1993). Physiological profile of top croatian soccer players. En *Science & Football II* (editado por T. Reilly, J. Clarys & A. Stibbe), pp. 37-39. Londres: E & FN Spon.
275. MATVEIEV, L. (1977). *Periodización del entrenamiento deportivo*. Madrid: Instituto Nacional de Educación Física.

276. MAYHEW, S.R. & WENGER, H.A. (1985). Time-motion analysis of professional soccer. *Journal of Human Movement Studies*, **11**, 49-52.
277. McARDLE, W.D., KATCH, F.I. & KATCH, V.L. (1986). *Exercise physiology, energy, nutrition and human performance*. Philadelphia: Lea & Febiger.
278. McCUTCHEON, M.C., STICHA, S.A., GIESE, M.D., NAGIE, F.J. (1990). A further analysis of the 12-minute run prediction of maximal aerobic power. *Research Quaterly of Sport*, **61**, 280-283.
279. McERLEAN, C., MURPHY, M. & O'DONOGHUE, P.O. (1998). Time-motion analysis of work rate within various positional roles of elite ladies' Gaelic Football. *Journal of Sports Sciences*, **16**, 21-22.
280. McKENNA, M.J., PATRICK, J.D., SANDSTROM, E.R. & CHENNELLS, M.H.D. (1988). Computer-video analysis of activity pattern in Australian Rules Football. En *Science & Football* (editado por T. Reilly, A. Lees, K. Davids & W.J. Murphy), pp. 274-281. Londres: E & FN Spon.
281. McLEAN, D.A. (1992). Analysis of the physical demands of international rugby union. *Journal of Sports Sciences*, **10**, 285-296.
282. McLESTER, M. (1997). Muscle contractions and fatigue. The role of adenosine 5'-diphosphate and inorganic phosphate. *Sports Medicine*, **23**, 287-305.
283. McMILLAN, K., RAMSDEN, J., NEWELL, J., WATT, I. & GRANT, S. (2004). Reproducibility of a soccer-specific blood lactate test. *Journal of Sports Sciences*, **22**, 551.
284. MEDBO, J.I., MOHN, A.C., TABATA, I., BAHR, R., VAAGE, O. & SEJERSTED, O.M. (1988). Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *Journal of Applied Physiology*, **64**, 50-60.
285. MELÉNDEZ, A. (1995). *Entrenamiento de la resistencia aeróbica: principios y aplicaciones*. Madrid: Alianza Deporte.

286. MERCER, T.H., GLEESON, N.P. & MITCHELL, J. (1997). Fitness profiles of professional soccer players before and after pre-season conditioning. En *Science & Football III* (editado por T. Reilly, J. Bangsbo & M. Hughes), pp. 112-117. Londres: E & FN Spon.
287. MERINO, R. (1996). Apuntes de la asignatura *Teoría de la Educación Física y el Deporte*. INEF Madrid, UPM, curso académico 1996-97.
288. METAXAS, T.I., KOUTLIANOS, N.A., KOUIDI, E.J. & DELIGIANNIS, A.P. (2005). Comparative study of field and laboratory tests for the evaluation of aerobic capacity in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, **19**, 79-84.
289. MEYER, P. (1985). *Fisiología Humana*. Barcelona: Salvat editores.
290. MILES, A., MACLAREN, D., REILLY, T. & YAMANAKA, K. (1993). An analysis of physiological strain in four-a-side women's soccer. En *Science & Football III* (editado por T. Reilly, J. Bangsbo & M. Hughes), pp. 140-145. Londres: E & FN Spon.
291. MIYAGI, O., OHASHI, J. & KITIGAWA, K. (1999). Motion characteristics of an elite soccer player during a game. *Journal of Sports Sciences*, **17**, 816.
292. MIYAMURA, S., SETO, S. & KOBAYASHI, H. (1997). A time analysis of men's and women's soccer. En *Science & Football III* (editado por T. Reilly, J. Bangsbo & M. Hughes), pp. 251-257. Londres: E & FN Spon.
293. MOHR, M. & BANGSBO, J. (2001). Development of fatigue towards the end of a high level soccer match. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **33**, 215.
294. MOHR, M., KRUSTRUP, P. & BANGSBO, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, **21**, 519-528.

295. MOHR, M., KRUSTRUP, P. & BANGSBO, J. (2004a). Physical preparation for the World Cup. *Journal of Sport Sciences*, **22**, 553.
296. MOHR, M., ELLINGSGAARD, H., ANDERSSON, H., BANGSBO, J. & KRUSTRUP, P. (2004b). Physical demands in high-level female soccer: application of fitness tests to evaluate match performance. *Journal of Sport Sciences*, **22**, 552-553.
297. MOHR, M., KRUSTRUP, P., NYBO, L., NIELSEN, J.J. & BANGSBO, J. (2004c). Muscle temperature and sprint performance during soccer matches – beneficial effect of re-warm-up at half time. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, **14**, 156-162.
298. MOHR, M., KRUSTRUP, P. & BANGSBO, J. (2005). Fatigue in soccer: A brief review. *Journal of Sports Sciences*, **23**, 593-599.
299. MOLINA, R. (1992). Futsal: um estudio das capacidades aerobica e anaerobica de jogadores e das actividades em jogo. Rio Claro, Universidade Estadual Paulista. Consulta realizada el 12-12-2002 en la base de datos electrónica *Sport Discus*; número de acceso: 339939.
300. MOMBAERTS, E. (1998). *Fútbol. Entrenamiento y rendimiento colectivo*. Barcelona: Hispano Europea.
301. MOMBAERTS, E. (2000). *Fútbol. Del análisis del juego a la formación del jugador*. Barcelona: INDE.
302. MORENO, M. (1999). *Táctica, Estrategia y Sistemas de Juego*. Madrid: Escuela de Entrenadores de la Real Federación Española de Fútbol.
303. MORRIS, D. (1982). *El deporte rey*. Barcelona: Argos Vergara.
304. MÚJICA, I., PADILLA, S., IBAÑEZ, J., IZQUIERDO, M. & GOROSTIAGA, E. (2000). Creatine supplementation and sprint performance in soccer players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **32**, 518-525.

305. NAGAHAMA, H., ISOKAWA, M., SUZUKI, S. & OHASHI, J. (1993). Physical fitness of soccer players affected by a maximal intermittent exercise "MIE". En *Science & Football II* (editado por T. Reilly, J. Clarys & A. Stibbe), pp. 47-52. Londres: E & FN Spon.
306. NAVARRO, E. (1994). *Análisis biomecánico de la técnica individual del lanzamiento de jabalina*. Tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Valencia.
307. NAVARRO, E. (1998). Apuntes de la asignatura *Biomecánica de las técnicas deportivas*. INEF Madrid, UPM, curso académico, 1998-99.
308. NAVARRO, E. (2004). *Sistemas de Análisis Biomecánico*. Anteproyecto INEF-UPM.
309. NAVARRO, E. & MALLO, J. (2001). *Análisis biomecánico aplicado a los deportes de equipo*. Ponencia presentada en el *I Curso de actualización del entrenamiento en la alta competición en los deportes de equipo*. Madrid: Instituto Nacional de Educación Física.
310. NAVARRO, E., GARCIA, M., MIRALLES, F.J. (2003). *Estudio y seguimiento mediante análisis biomecánico del entrenamiento del Equipo Nacional de Gimnasia Artística Masculina de cara a su preparación para la Olimpiada de 2004. Cuarto ciclo: 2003/2004*. Universidad Politécnica de Madrid.
311. NAVARRO VALDIVIELSO, F. (1997). Apuntes de la asignatura *Teoría y Práctica del Entrenamiento Deportivo*. INEF Madrid, UPM, curso académico 1997-98.
312. NEVILL, A.M. & ATKINSON, G. (1998). Assessing measurement agreement (repeatability) between three or more trials. *Journal of Sports Sciences*, **16**, 29.
313. NICHOLAS, C.W., NUTTALL, F.E. & WILLIAMS, C. (2000). The Loughborough intermittent shuttle test: A field test than simulates the activity pattern of soccer. *Journal of Sports Sciences*, **18**, 97-104.

314. NIGG, B., MacINTOSH, B. & HESTER, J. (2000). *Biomechanics and biology of movements*. Champaign, IL: Human Kinetics.
315. NOGUÉS, R. (1998). Análisis de las modificaciones de frecuencia cardiaca de futbolistas no profesionales durante la competición. *Training fútbol*, **25**, 42-46.
316. NORDSBORG, N., MOHR, M., PEDERSEN, L.D., NIELSEN, J.J. & BANGSBO, J. (2003). Muscle interstitial potassium kinetics during intense exhaustive exercise – effect of previous arm exercise. *American Journal of Physiology*, **285**, 143-148.
317. O’CONNOR, D. (2001). Time-motion analysis of elite touch players. En *Science & Football IV* (editado por W. Spinks, T. Reilly & A. Murphy), pp. 126-131. Londres: Routledge.
318. O’DONOGHUE, P.G. & PARKER, D. (2002). Time-motion analysis of FA Premier League soccer competition. *Journal of Sports Sciences*, **20**, 26.
319. O’DONOGHUE, P. & KING, S. (2004). Activity profile of men’s Gaelic football. *Journal of Sport Sciences*, **22**, 514-515.
320. OGUSHI, T., OHASHI, J., NAGAHAMA, H., ISOKAWA, M. & SUZUKI, S. (1993) Work intensity during soccer match-play (A case study). En *Science & Football II* (editado por T. Reilly, J. Clarys & A. Stibbe), pp. 121-123. Londres: E & FN Spon.
321. OHASHI, J., TOGARI, H., ISOKAWA, M. & SUZUKI, S. (1988). Measuring movement speeditores and distances covered during soccer match-play. En *Science & Football* (editado por T. Reilly, A. Lees, K. Davids & W.J. Murphy), pp. 329-333. Londres: E & FN Spon.
322. OHASHI, J., ISOKAWA, M., NAGAHAMA, H. & OGUSHI, T. (1993). The ratio of physiological intensity of movements during soccer match-play. En *Science & Football II* (editado por T. Reilly, J. Clarys & A. Stibbe), pp. 124-128. Londres: E & FN Spon.

323. OHASHI, J., MIYAGI, O., NAGAHAMA, H., OGUSHI, T. & OHASHI, K. (2001). Application of an analysis system evaluating intermittent activity during a soccer match. En *Science & Football IV* (editado por W. Spinks, T. Reilly & A. Murphy), pp. 132-136. Londres: Routledge.
324. OHASHI, J., MIYAGI, O., YASUMATSU, M. & ISHIZAKI, S. (2004). Multiple intermittent protocols simulating a soccer match. *Journal of Sports Sciences*, **22**, 556.
325. OKIHARA, K., KAN, A., SHIOKAWA, M., SOON CHOI, C., DEGUSHI, T., MATSUMOTO, M. & HIGASHIKAWA, Y. (2004). Compactness as a strategy in a soccer match in relation to a change in offence and defence. *Journal of Sports Sciences*, **22**, 515.
326. OUDEJANS, R.R.D. (2003). Education of attention in judging offside. En *Book of abstracts of the Vth World Congress on Science & Football*, pp. 233. Madrid: Gymnos.
327. OUDEJANS, R.R.D., VERHEIJEN, R., BAKKER, F.C., GERRITS, J.C., STEINBRÜCKNER, M. & BEEK, P.J. (2000). Errors in judging offside in football. *Nature*, **404 (6773)**, 33.
328. PARLEBAS, P. (1988). *Elementos de sociología del deporte*. Málaga: Unisport, Junta de Andalucía/Universidad Internacional del Deporte de Andalucía.
329. PÉREZ TEJERO, J. (2003). *Análisis del perfil de exigencia en el baloncesto en silla de ruedas*. Tesis Doctoral, Escuela Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid.
330. PIERNAVIEJA, M. (1967). *“Depuerto”, “Deporte” protohistoria de una palabra*. Madrid: Instituto Nacional de Educación Física.
331. PINO, J. (1999). Evolución de los instrumentos y métodos de observación en fútbol. *Lecturas en Educación Física y Deportes*, **17**. Consulta realizada el 11-

- 12-2000 de la World Wide Web: <http://www.efdeportes.com/efd17a/evalfut.htm>.
332. PINO, J. (2002). Análisis funcional del fútbol como deporte de equipo. Sevilla: Wanceulen.
333. PIRNAY, F., GEURDE, P. & MARECHAL, R. (1993). Necesidades fisiológicas de un partido de fútbol. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, **7 (2)**, 44-53.
334. PIZZI, A. & CASTAGNA, C. (2002). L'arbitro di calcio: profilo medico-sportivo. *Medicina dello Sport*, **55**, 219-226.
335. PLATONOV, V.N. (1988). El entrenamiento deportivo. Teoría y Metodología. Barcelona: Paidotribo.
336. POWER, K., DUMBAR, J. & TREASURE, D. (2004). Fitness and psychological markers as a function of playing level and position in two English Premier League football clubs. *Journal of Sports Sciences*, **22**, 574-575.
337. PRAT, J. (1993). *Biomecánica de la marcha normal y patológica*. Instituto de Biomecánica de Valencia.
338. RAHNAMA, N., REILLY, T., LEES, A. & GRAHAM-SMITH, P. (2003). Muscle fatigue induced by exercise simulating the work rate of competitive soccer. *Journal of Sports Sciences*, **21**, 933-942.
339. RAMADAN, J. & BYRD, R. (1987). Physical characteristics of elite soccer players. *Journal of Sports Medicine*, **27**, 424-427.
340. RAMOS, J.J., LÓPEZ-SILVARREY, F.J. & MIGUEL, F. (2001). *Valoración fisiológica del futbolista*. Editado por la Consejería de Presidencia y Hacienda de la Comunidad de Madrid.
341. RAMPININI, E., SASSI, A., SASSI, R. & IMPELLIZZERI, F.M. (2004). Variables influencing fatigue in soccer performance. Abstract de la comunicación presentada en el *Congreso Internacional The Rehabilitation of*

- Sports Muscle and Tendon Injuries*. Consulta realizada el 20-05-2005 de la World Wide Web: <http://www.isokinetic.com>.
342. RAVEN, P.B., GETTMAN, L.R., POLLOCK, M.L. & COOPER, K.H. (1976). A physiological evaluation of professional soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, **109**, 209-215.
343. REBELO, A.N. & SOARES, J.M.C. (1997). Endurance capacity of soccer players pre-season and during the playing season. En *Science & Football III* (editado por T. Reilly, J. Bangsbo & M. Hughes), pp. 106-111. Londres: E & FN Spon.
344. REBELO, A.N., KRUSTRUP, P., SOARES, J. & BANGSBO, J. (1998). Reduction in intense intermittent exercise performance during a soccer match. *Journal of Sports Sciences*, **16**, 482-483.
345. REILLY, T. (1990). Football. En *Physiology of sports* (editado por T. Reilly, N. Secher, P. Snell and C. Williams), pp. 371-426. Londres: E & FN Spon.
346. REILLY, T. (1993). Science & Football: An introduction. En *Science & Football II* (editado por T. Reilly, J. Clarys & A. Stibbe), pp. 3-11. Londres: E & FN Spon.
347. REILLY, T. (1994a). Motion characteristics. En *Football (soccer)* (editado por B. Ekblom), pp. 31-42. Oxford: Blackwell.
348. REILLY, T. (1994b). Physiological profile of the player. En *Football (soccer)* (editado por B. Ekblom), pp. 78-94. Oxford: Blackwell.
349. REILLY, T. (1996a). Motion analysis and physiological demands. En *Science and Soccer* (editado por T. Reilly), pp. 65-81. Londres: E & FN Spon.
350. REILLY, T. (1996b). Fitness assessment. En *Science and Soccer* (editado por T. Reilly), pp. 25-49. Londres: E & FN Spon.
351. REILLY, T. (1997). Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *Journal of Sports Sciences*, **15**, 257-263.

352. REILLY, T. (2000). The physiological demands of soccer. En *Soccer & Science* (editado por J. Bangsbo), pp. 91-105. University of Copenhagen.
353. REILLY, T. (2003). Science & Football: A history and an update. En *Book of abstracts of the Vth World Congress on Science & Football*, pp. 8. Madrid: Gymnos.
354. REILLY, T. & BALL, B. (1984). The net physiological cost of dribbling a soccer ball. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, **55** (3), 267-271.
355. REILLY, T. & BOWEN, T. (1984). Exertional costs of changes in directional modes of running. *Perceptual and Motor Skills*, **58**, 149-150.
356. REILLY, T. & SMITH, D. (1986). Effects of work intensity on performance in a psychological task during exercise. *Ergonomics*, **29**, 601-606.
357. REILLY, T. & THOMAS, V. (1976). A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. *Journal of Human Movement Studies*, **2**, 87-97.
358. REILLY, T. & THOMAS, V. (1979). Estimated energy expenditure of professional association footballers. *Ergonomics*, **22**, 541-548.
359. REILLY, T., CLARYS, J. & STIBBE, A. (editores) (1988). *Science & Football*. Londres: E & FN Spon.
360. REILLY, T., LEES, A., DAVIDS, K. & MURPHY, W. (editores) (1993). *Science & Football II*. Londres: E & FN Spon.
361. REILLY, T., BANGSBO, J. & HUGHES, M. (editores) (1997). *Science & Football III*. Londres: E & FN Spon.
362. RICHARDSON, R.S. (2000). What governs skeletal muscle VO_{2max} ? New evidence. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **32**, 100-107.
363. RIENZI, E., REILLY, T. & MALKIN, C. (1999). Investigation of anthropometric and work-rate profiles of Rugby Sevens players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, **39**, 160-164.

364. RIENZI, E., DRUST, B., REILLY, T., CARTER, J.E.L. & MARTIN, A. (2000). Investigations of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. *Journal Sports Medicine and Physical Fitness*, **40**, 162-169.
365. RIERA, J. (1986). Análisis cinemático de los desplazamientos en la competición de baloncesto. *Revista de Investigación y Documentación sobre las Ciencias de la Educación Física y del Deporte, ICEF*, **3**, 31-42.
366. RIERA, J. & AGUADO, X. (1989). Sistema informatic per mesurar els desplaçaments en competició. *Apunts: Educación Física i Esports*, **15**, 61-64.
367. RODRÍGUEZ, F.A. (1994). Gasto energético y valoración metabólica en el fútbol. En *Jornadas internacionales de medicina y fútbol premundial 94* (editado por el Instituto Vasco de Educación Física), pp. 48-64. Vitoria: IVEF.
368. RODRÍGUEZ, F.A. & IGLESIAS, X. (1998). The energy cost of soccer: telemetric oxygen uptake measurements vs herat rate-VO₂ estimations. *Journal of Sports Sciences*, **16**, 484-485.
369. ROHDE, H.C. & ESPERSEN, T. (1988). Work intensity during soccer training and match-play. En *Science & Football* (editado por T. Reilly, A. Lees, K. Davids & W.J. Murphy), pp. 68-75. Londres: E & FN Spon.
370. ROI, G.S., PEA, E., DE ROCCO, G., CRIPPA, M., BENASSA, L., COBELLI, A. & ROSA, G. (1993). Relationship between maximal aerobic power and performance on a professional soccer team. En *Science & Football II* (editado por T. Reilly, J. Clarys & A. Stibbe), pp. 146-147. Londres: E & FN Spon.
371. ROI, G.S., SISCA, G., PERONDI, F., DIAMANTA, A. & NANNI, G. (2004). Post-competition blood lactate accumulation during a First League soccer season. *Journal of Sports Sciences*, **22**, 560.

372. RONTTOYANNIS, A., STALIKAS, G., SARROS, A. & VLASTARIS, A. (1998). Medical, morphological and functional aspects of Greek football referees. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, **38**, 208-214.
373. RUÍZ PÉREZ, L.M. (1994). *Deporte y aprendizaje*. Madrid: Visor.
374. SAHLIN, K. & REN, J.M. (1989). Relationship of contraction capacity to metabolic changes during recovery from a fatiguing contraction. *Journal of Applied Physiology*, **67**, 648-654.
375. SALTIN, B. (1973). Metabolic fundamentals in exercise. *Medicine and Science in Sports*, **5**, 137-146.
376. SAMPAIO, J. & MAÇAS V. (2004a). Differences in football players' sprint test performance across different levels of competition. *Journal of Sport Sciences*, **22**, 561.
377. SAMPAIO, J. & MAÇAS V. (2004b). Differences in football players' fatigue after a sprint test across different levels of competition. *Journal of Sport Sciences*, **22**, 561-562.
378. SAMPEDRO, J. (1997). *Fútbol Sala. Las acciones de juego*. Madrid: Gymnos.
379. SAMPEDRO, J. (1998). Apuntes de la asignatura *Fundamentos de táctica deportiva*. INEF Madrid, UPM, curso académico 1998-99.
380. SAMPEDRO, J. (1999). *Fundamentos de táctica deportiva. Análisis de la estrategia en los deportes*. Madrid: Gymnos.
381. SARGEANT, A.J. (1987). Effect of muscle temperature on leg extension force and short term power output in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, **56**, 693-698.
382. SCHUTZ, Y. & CAMBAZ, A. (1997). Could a satellite-based navigation system (GPS) be used to assess the physical activity of individuals on earth? *European Journal of Clinical Nutrition*, **51**, 338-339.

383. SCHUTZ, R.W. & GESSAROLI, M.E. (1987). The analysis of repeated measures designs involving multiple dependent variables. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, **58** (2), 132-149.
384. SCHUTZ, Y. & HERREN, R. (2000). Assessment of speed of human locomotion using a differential satellite global positioning system. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **32**, 642-646.
385. SEIRUL-LO F. (1994). *Criterios modernos de entrenamiento en el fútbol*. En *Jornadas internacionales de medicina y fútbol premundial 94* (editado por el Instituto Vasco de Educación Física), pp. 201-212. Vitoria: IVEF.
386. SETTERWALL, D. (2003). *Computerised video analysis of football – Technical and comercial possibilities for football coaching*. Master's thesis in Computer Science. Estocolmo: CID, NADA.
387. SHELTON, T. (1996). Information technology. En *Science and Soccer* (editado por T. Reilly), pp. 377-385. Londres: E & FN Spon.
388. SHEPHARD, R.J. (1992a). Maximal Oxygen Intake. En *Endurance in Sport* (editado por R.J. Shephard y P.O. Astrand), pp. 192-200. Champaign, IL: Human Kinetics.
389. SHEPHARD, R.J. (1992b). Muscular Endurance and Blood Lactate. En *Endurance in Sport* (editado por R.J. Shephard y P.O. Astrand), pp. 215-225. Champaign, IL: Human Kinetics.
390. SHEPHARD, R.J. (1999). Biology and medicine of soccer: An update. *Journal of Sports Sciences*, **17**, 757:786.
391. SHIOKAWA, M., TAKAHASHI, K., KAN, A., USUI, K.O.S., CHOI, C.S. & DEGUCHI, T. (2004). Computer analysis of a soccer game by the DLT method focusing on the movement of the players and the ball. *Journal of Sports Sciences*, **22**, 516.

392. SIRTORI, M.D., LORENZELLI, F., PERONI-RANCHET, F., COLOMBINI, A. & MOGNONI, P. (1993). Stima della velocità di corsa corrispondente alla soglia anaerobica basata su un prelievo di sangue capillare: applicazione a giocatore di calcio. *Medicina dello Sport*, **46**, 281-286.
393. SMITH, M., CLARKE, G., HALE, T. & McMORRIS, T. (1993). Blood lactate levels in college soccer players during match-play. En *Science & Football III* (editado por T. Reilly, J. Bangsbo & M. Hughes), pp. 129-134. Londres: E & FN Spon.
394. SMITH, C., DONNELLY, A., BREWER, J. & DAVIS, J. (1994). An investigation of the specific aspects of fitness in professional and amateur footballers. *Journal of Sports Sciences*, **12**, 165-166.
395. SOTO, V.M. (2002). Photogrammetric system for movement analysis in team sports. En *Book of abstracts of the XXth International Symposium on Biomechanics in Sports*, pp. 341-344. Cáceres: ISBS.
396. SPENCER, M., LAWRENCE, S., RECHICHI, C., BISHOP, D., DAWSON, B., GOODBMAN, C. (2004). Time-motion analysis of elite field hockey, with special reference to repeated-sprint activity. *Journal of Sports Sciences*, **22**, 843-850.
397. SPENDIFF, O., WINTER, E.M., LONGFORD, N. & CAMPBELL, I.G. (2002). The effects of fatigue on torque-velocity relationships in muscle. *Journal of Sports Sciences*, **20**, 59.
398. SPINKS, W., REILLY, T. & MURPHY, A. (editores) (2002). *Science & Football IV*. Londres: E & FN Spon.
399. S.P.S.S. (2005). *SPSS 10: Guía para el análisis de datos*. Consulta realizada el 16-11-2004 de la World Wide Web: <http://www.uca.es/serv/ai/formacion>.
400. STOLEN, T., CHAMARI, K., CASTAGNA, C. & WISLOFF, U. (2005). Physiology of soccer. An update. *Sports Medicine*, **35**, 501-536.

401. STROYER, J., HANSEN, L. & KLAUSEN, K. (2004). Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **36**, 168-174.
402. STRUDWICK, A., REILLY, T. & DORAN, D. (2002). Anthropometric and fitness profiles of elite players in two football codes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, **42**, 239-242.
403. TERRADOS, N. & FERNÁNDEZ, B. (2001). *La fatiga deportiva, la sobrecarga y el sobreentrenamiento*. Apuntes del módulo 5.2 del Máster en Alto Rendimiento Deportivo, Comité Olímpico Español, Universidad Autónoma de Madrid.
404. TERRIER, P. & SCHUTZ, Y. (2003). Variability of gait patterns during unconstrained walking assessed by satellite positioning (GPS). *European Journal of Applied Physiology*, **90**, 554-561.
405. TERRIER, P., LADETTO, Q., MERMINOD, B. & SCHUTZ, Y. (2000). High-precision satellite positioning system as a new tool to study the biomechanics of human locomotion. *Journal of Biomechanics*, **33**, 1717-1722.
406. TERRIER, P., LADETTO, Q., MERMINOD, B. & SCHUTZ, Y. (2001). Measurement of the mechanical power of walking by satellite positioning system (GPS). *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **33**, 1912-1918.
407. TIPLER, P.A. (1994). *Física*. Madrid: Reverté.
408. TIRYAKI, G., TUNCEL, F., YAMANER, F., AGAOGLU, S.A., GUMUPDAD, H. & ACAR, M.F. (1997). Comparison of the physiological characteristics of the first, second and third league Turkish soccer players. En *Science & Football III* (editado por T. Reilly, J. Bangsbo & M. Hughes), pp. 32-36. Londres: E & FN Spon.

409. THATCHER, R. & BATTERHAM, A.M. (2004). Development and validation of a sport-specific exercise protocol for elite youth soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, **44**, 15-22.
410. THOMAS, J.R. & NELSON, J.K. (1985). *Introduction to research in health, physical education, recreation and dance*. Champaign, IL: Human Kinetics.
411. THOMAS, J.R. & NELSON, J.K. (2001). *Research methods in physical activity*. Champaign, IL: Human Kinetics.
412. TSORBATZOUDIS, H., KAISSIDIS-RODAFINOS, A., PARTEMIAN, S. & GROUIOS, G. (2005). Sources of stress among Greek team handball referees: Construction and validation of the handball officials' sources of stress survey. *Perceptual and Motor Skills*, **100**, 821-830.
413. TUMILTY, D. (1993). Physiological characteristics of elite soccer players. *Sports Medicine*, **16**, 80-96.
414. UEBERHORST, H. (1986). Teorías sobre el origen del deporte. *Citius, Altius, Fortius*, **IX**, 9-57.
415. VAN GOOL, D., VAN GERVEN, D. & BOUTMANS, J. (1983). Heart telemetry during a soccer game: a new methodology. *Journal of Sports Sciences*, **1**, 154.
416. VAN GOOL, D., VAN GERVEN, D. & BOUTMANS, J. (1988). The physiological load imposed on soccer players during real match-play. En *Science & Football* (editado por T. Reilly, A. Lees, K. Davids & W.J. Murphy), pp. 51-59. Londres: E & FN Spon.
417. VAN MEERBEEK, R., VAN GOOL, D. & BOLLENS, J. (1988). Analysis of the refereeing decisions during the world soccer championship in 1986 in México. En *Science & Football* (editado por T. Reilly, A. Lees, K. Davids y W.J. Murphy), pp. 377-382. Londres: E & FN Spon.
418. VANFRAECHEM, J.H.P. & TOMAS, M. (1988). Maximal aerobic power and ventilatory threshold of a top level soccer team. En *Science & Football* (editado

- por T. Reilly, A. Lees, K. Davids y W.J. Murphy), pp. 43-46. Londres: E & FN Spon.
419. VILADOT, A. (1992). La Biomecánica del aparato locomotor en España. *Biomecánica*, **1**, 9-18.
420. 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.
421. WAHL, A. (1997). *Historia del fútbol, del juego al deporte*. Barcelona: Ediciones B.
422. WELSH, R.S., DAVIDS, J.M., BURKE, J.R. & WILLIAMS, H.G. (2002). Carbohydrate and physical/mental performance during intermittent exercise to fatigue. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **34**, 723-731.
423. WELTMAN, A. (1995). *The blood lactate response to exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics.
424. WEST, J.B. (1993). *Bases fisiológicas de la práctica médica*. Madrid: Médica Panamericana.
425. WESTON, M. & BREWER, J. (2002). A study of the physiological demands of soccer refereeing. *Journal of Sports Sciences*, **20**, 59-60.
426. WESTON, M., HELSEN, W., MacMAHON, C. & KIRKENDALL, D. (2004). The impact of specific high-intensity training sessions on football referees' fitness levels. *American Journal of Sports Medicine*, **32 (1) Suppl**, 54S-61S.
427. WHITE, J.E., EMERY, T.M., KANE, J.E., GROVES, R. & RISMAN, A.B. (1988). Pre-season fitness profiles of professional soccer players. En *Science & Football* (editado por T. Reilly, A. Lees, K. Davids & W.J. Murphy), pp. 164-171. Londres: E & FN Spon.

428. WILKINS, H.A., PETERSEN, S.R. & QUINNEY, H.A. (1991). Time-motion analysis of and heart rate responses to amateur ice hockey officiating. *Canadian Journal of Sports Sciences*, **16** (4), 302-307.
429. WILLIAMS, K.R. (1993). Biomechanics of distance running. En *Current issues in biomechanics* (editado por M.D. Grabiner), pp. 3-31. Champaign, IL: Human Kinetics.
430. WILLIAMS, A.G. & LAMB, K.L. (1997). Validation of two indirect methods of assessing body composition against hydrodensitometry with the emphasis on statistical methodology. *Journal of Sports Sciences*, **15**, 35.
431. WILLIAMS, C., REID, R.M. & COUTTS, R. (1973). Observations on the aerobic power of university rugby players and professional soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, **7**, 390-391.
432. WINKLER, W. (1993). Computer-controlled assessment and video-technology for the diagnosis of a player's performance in soccer training. En *Science & Football II* (editado por T. Reilly, J. Clarys & A. Stibbe), pp. 73-80. Londres: E & FN Spon.
433. WISLOFF, U., HELGERUD, J. & HOFF, J. (1998). Strength and endurance of elite soccer players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **30**, 462-467.
434. WITHERS, R.T., MARICIC, Z., WASILEWSKI, S. & KELLY, L. (1982). Match analysis of Australian professional soccer players. *Journal of Human Movement Studies*, **8**, 159-176.
435. WOLTRING, H.J. (1985). On optimal smoothing and derivate estimation from noisy displacement data in biomechanics. *Human Movement Science*, **4**, 229-245.

436. WOLTRING, H.J. (1986). A Fortran package for generalized, cross-validatorspline smoothing and differentiation. *Advance Engineering Software*, **8 (2)**, 103-113.
437. WOLTRING, H.J. (1995). Smoothing and differentiation techniques applied to 3-D data. En *Three dimensional analysis of human movement* (editado por P. Allard, I.A.F. Stokes & J.P. Blanchi), pp.79-99. Champaign, IL: Human Kinetics.
438. YAGÜE, P. (2002). Fútbol: Requerimientos físicos y fisiológicos de la competición, perfil funcional del jugador. *Training fútbol*, **72**, 32-43.
439. YAGÜE, J.M. & YAGÜE, P.L. (1997). La valoración funcional del futbolista en distintas categorías. *El Entrenador Español*, **73**, 12-25.
440. YAMANAKA, K., HAGA, S., SHINDO, M., NARITA, J., KOSEKI, S., MATSUURA, Y. & EDA, M. (1988). Time and motion analysis in top class soccer games. En *Science & Football* (editado por T. Reilly, A. Lees, K. Davids & W.J. Murphy), pp. 334-339. Londres: E & FN Spon.
441. YAMANAKA, K., HUGHES, M. & LOTT, M. (1993). An analysis of patterns of play in the 1990 World Cup for association football. En *Science & Football II* (editado por T. Reilly, J. Clarys & A. Stibbe), pp. 206-214. Londres: E & FN Spon.
442. YEADON, M.R., KATO, T. & KERWIN, D.G. (1999). Measuring running speed using photocells. *Journal of Sports Sciences*, **17**, 249-257.
443. ZATSIORSKI, V.M (1989). *Metrología deportiva*. La Habana: Pueblo y Educación.
444. ZINTL, F. (1991). *Entrenamiento de la resistencia: fundamentos, métodos y dirección del entrenamiento*. Barcelona: Martínez Roca.
445. ZUBILLAGA, A. (2004). *Demandas físicas del fútbol desde el análisis del juego*. Ponencia presentada en el *IV Congreso Internacional de las Ciencias del Fútbol*. Madrid: Centro Médico Real Madrid C.F.

GLOSARIO

- **Categorías de esfuerzo: Actividad cinemática.**
 - ***Estar parado***: movimientos cuya velocidad lineal es inferior a 1 m/s.
 - ***Andar***: velocidad lineal entre 1,01 y 2 m/s
 - ***Trotar***: velocidad lineal entre 2,01 y 3,6 m/s
 - ***Correr***: velocidad lineal entre 3,61 y 5 m/s
 - ***Sprintar***: la velocidad lineal excede los 5 m/s.

- **Categorías de esfuerzo: Frecuencia cardiaca (en relación a la $FC_{m\acute{a}x}$)**
 - ***Recuperación pasiva***: esfuerzos por debajo del 65 de la $FC_{m\acute{a}x}$
 - ***Recuperación activa***: entre el 66 y 75% de la $FC_{m\acute{a}x}$
 - ***Media intensidad***: entre el 76 y 85% de la $FC_{m\acute{a}x}$
 - ***Alta intensidad***: entre el 86 y 95% de la $FC_{m\acute{a}x}$
 - ***Máxima intensidad***: por encima del 95% de la $FC_{m\acute{a}x}$

- **Ejercicio de Alta Intensidad**: Variable cinemática que mejor caracteriza los esfuerzos realizados por los jueces y futbolistas del máximo nivel. Se trata de un parámetro estable a la hora de analizar a un deportista en sucesivos partidos. En el ámbito del presente trabajo queda definido por los esfuerzos realizados a una velocidad lineal que excede los 3,6 m/s (13 km/h).

- **Ejercicio Intermitente**: Actividad física en la que la energía no se obtiene de manera única por la vía aeróbica o anaeróbica sino que se produce una alternancia en la intensidad de los esfuerzos. Este tipo de ejercicio es característico de los deportes colectivos como el fútbol.

- **Fatiga:** En el presente estudio se considera la fatiga como un descenso del rendimiento físico en relación a un período de juego previo.
- **Fotogrametría 2D vídeo:** Técnica experimental característica de la biomecánica deportiva que permite la obtención de las coordenadas (x , y) de puntos en el plano a partir de las imágenes obtenidas desde cámaras de vídeo.
- **“Match-analysis”:** Término inglés que simboliza el acopio de datos relativos al análisis del juego desde diversas disciplinas, en un intento por racionalizar al máximo la conducta motriz observada.
- **Modelo de análisis del rendimiento físico:** Pretende recabar la información relevante de la actuación del deportista durante la competición, integrándola en una base común para mejorar el proceso de entrenamiento y predecir futuras actuaciones competitivas. Para el estudio de los árbitros y los árbitros asistentes en la presente investigación se estructura en tres apartados:
 - Análisis de la participación en el juego
 - Análisis de la respuesta fisiológica durante la competición
 - Valoración de la condición física
- **Rendimiento físico:** En el ámbito de este trabajo representa la conducta motriz realizada por el deportista durante los partidos de competición (actividad cinemática) y la respuesta que dicha actuación tiene en el organismo (monitorización de la frecuencia cardíaca).

ABREVIATURAS

- **ANOVA:** Análisis de la varianza
- **ATP:** Adenosintrifosfato
- **cal:** calorías
- **DLT:** "Direct Lineal Transformation"
- **IFAB:** Junta Internacional del Fútbol Asociado
- **FC_{máx}:** Frecuencia cardiaca máxima
- **FC_{med}:** Frecuencia cardiaca media
- **FC-VO₂:** Relación frecuencia cardiaca-consumo de oxígeno
- **FA:** "Football Association" (Fútbol Asociado)
- **FIFA:** Federación Internacional de Fútbol Asociado
- **gr:** gramos
- **Hz:** Hercios
- **J:** Julios
- **l:** litros
- **m:** metros
- **min:** minutos
- **mol:** moles
- **Na⁺/K⁺:** Sodio/potasio
- **NH₃:** Amoniaco
- **p/min:** pulsaciones por minuto
- **PC:** Fosfato de creatina
- **RFEF:** Real Federación Española de Fútbol
- **s:** segundos
- **UEFA:** Unión Europea de Fútbol Asociado
- **VO_{2máx}:** Consumo máximo de oxígeno