



UNIVERSIDAD DE
MURCIA



Utilidad de un dispositivo inercial en fútbol base: validez de registro de la frecuencia cardiaca y análisis de las demandas físicas de partidos y entrenamientos

Trabajo Fin de Máster
Junio de 2014

Autor:
Iván Molina Carmona
23.289.553Y

Tutor:
Prof. Dr. J. José Pino Ortega

Facultad de Ciencias del Deporte



UNIVERSIDAD DE
MURCIA



El alumno de máster D. Iván Molina Carmona, con número de D.N.I. 23.289.553-Y, estudiante del Máster Oficial “Investigación en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte”, desarrollado por la Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad de Murcia, presenta su trabajo FIN DE MÁSTER, titulado:

“Utilidad de un dispositivo inercial en fútbol base: validez de registro de la frecuencia cardiaca y análisis de las demandas físicas de partidos y entrenamientos”

El presente trabajo FIN DE MASTER fue tutorizado por el Prof. Dr. D. José Pino Ortega el cual acredita, a través de este documento, la idoneidad del presente trabajo de investigación y le otorga el Vº Bº a su contenido para llevar a cabo la defensa de pública de su proyecto de investigación.

Para que así conste, se firma la presente en San Javier, a 17 de Julio de 2014.

Fdo.: José Pino Ortega.

Molina Carmona, Iván. (2014). *Utilidad de un dispositivo inercial en fútbol base: validez de registro de la frecuencia cardíaca y análisis de las demandas físicas de partidos y entrenamientos*. Trabajo de Fin de Máster. Murcia: Universidad de Murcia.

RESUMEN

Es importante conocer las exigencias físicas, fisiológicas y energéticas de la competición en fútbol, con el fin de mejorar el entrenamiento y proporcionar un control más completo y objetivo. Para ello dispositivos inerciales tales como Wimbu se utilizan dentro de una variedad de situaciones deportivas para cuantificar las exigencias físicas de estos entrenamientos y partidos. Así, es muy importante conocer la validez y precisión del dato de dichas mediciones ya que se utilizan en contextos reales del juego.

En el primer informe participaron 15 jugadores de un equipo de fútbol base de categoría Primera Cadete. En este trabajo se midió la validez del dispositivo inercial Wimbu para registrar la frecuencia cardíaca mediante la comparación con un dispositivo validado como es Polar Team 2. Los individuos que componen la muestra llevaron a cabo el test RSA. Se aplicó el coeficiente de correlación Rho de Spearman y un gráfico de dispersión. Se obtuvo un $R^2 = .95$ y una $p = .00$ concluyendo que el dispositivo inercial es válido para registrar la frecuencia cardíaca en fútbol.

En el segundo informe participó 1 jugador de un equipo de fútbol base de categoría Primera Cadete. En este estudio se aplicó un estudio de 1 caso enfocado al análisis de la relación de las variables de frecuencia cardíaca, velocidad y aceleración (intensidad) y distancia y tiempo (volumen) (porcentaje de distancia y tiempo en cada categoría de frecuencia cardíaca, velocidad y aceleración), monitorizando 6 partidos y 15 entrenamientos. Se aplicaron medias, desviaciones típicas y la prueba de Man-Whitney. Los resultados muestran que las demandas

físicas de la competición son superiores a las de los entrenamientos en este caso único de un equipo de fútbol base cadete.

Tras la validación de los datos registrados de frecuencia cardiaca por el dispositivo inercial Wimu este, dispositivo se podría utilizar en el ámbito del fútbol para conocer la medida en la cual son reproducidas las demandas físicas (velocidad, frecuencia cardiaca, aceleración en relación a la distancia y el tiempo) de los partidos durante los entrenamientos, y poder actuar en consonancia, aumentando la especificidad de la sollicitación durante el entrenamiento.

Palabras claves: Fútbol, cuantificación, validación, dispositivo inercial, frecuencia cardiaca.

Molina Carmona, Iván. (2014). *Utility of an inertial device based football: Validity of heart rate recording and analysis of the physical demands of matches and training*. Trabajo de Fin de Máster. Murcia: Universidad de Murcia.

ABSTRACT

It is important to know the physical, physiological and energetic demands of competition in football, in order to improve training and provide a more complete and objective control. For this purpose, inertial devices such as Wimu are used in a variety of sporting situations to quantify the physical demands of these practices and games. Thus, it is very important to know the validity of the measurements and data which are used in real situations of the game.

In the first report participated 15 players on a football team based young players category. In this paper, the validity and reliability of the inertial device Wimu was measured to record the heart rate by comparison with a validated device as Polar Team 2. Individuals in the sample held the RSA test. The correlation coefficient and Spearman Rho scatter plot was applied. One $R^2 = .95$ and $p = .00$ was obtained concluding that the inertial device is valid for recording heart rate in football.

In the second report 1 Player participated of a football team based Young players category. In this study 1 case study focused on the analysis of the relationship of the variables of heart rate, velocity and acceleration (intensity) and distance and time (volume) (percentage of distance and time for each category of heart rate was applied, velocity and acceleration), by monitoring 6 games and 15 workouts. Arithmetic averages, standard deviations and Man-Whitney test was applied. The results show that the physical demands of competition are higher than those of the training in this unique case of youth football team.

After validation of the recorded data of heart rate inertial device Wimu, the device could be used in the field of football to know the extent to which they are reproduced the physical demands (speed, heart rate, acceleration in relation to

distance and time) matches during training, and to act accordingly, increasing the specificity of stress during training.

Keywords: Football, quantification, validation, inertial device, heart rate.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer la ayuda y colaboración que mi tutor José Pino Ortega me ha brindado durante la realización de este trabajo, gracias.

Por otro lado quiero dar las gracias y destacar en estos agradecimientos a Juan Manuel Moreno Ayuso por su ayuda constante y desinteresada a lo largo de todo el Trabajo Fin de Máster, de corazón, gracias. Además no quiero olvidarme de Enrique Ortega Toro, por su colaboración en mi análisis estadístico, de Jose Arturo Ablaldes Valeiras, por su ayuda con la normativa y de la empresa RealtrackSystems, por permitirme trabajar con uno de sus dispositivos.

Y por último a mi familia y amigos, por su apoyo y paciencia durante este año, gracias.

ÍNDICE DEL TRABAJO

Índice	Pág.
1. Introducción.....	11
1.1. Validez de registro de los instrumentos empleados para la cuantificación de la carga en fútbol.....	14
1.2. Indicadores de rendimiento en fútbol.....	19
1.2.1. Carga interna.....	20
1.2.2. Carga externa.....	21
1.2.3. Carga técnico-táctica.....	22
1.2.4. Carga psicológica.....	24
1.3. Cuantificación de la carga en fútbol.....	25
2. Objetivos.....	33
3. Informes.....	37
3.1. Informe I: Validez del dispositivo inercial Wimu para el registro de la frecuencia cardiaca mediante un test de campo en fútbol.....	39
3.1.1. Introducción.....	39
3.2.2. Método.....	41
3.2.3. Resultados.....	43
3.2.4. Discusión.....	44
3.2.5. Conclusiones.....	45
3.2.6. Aplicaciones prácticas.....	45
3.2.7. Referencias Bibliográficas.....	45
3.2. Informe II: Análisis de las demandas físicas de partidos y entrenamientos de un caso único en un equipo de fútbol base.....	51
3.1.1. Introducción.....	53
3.2.2. Método.....	55
3.2.3. Resultados.....	57
3.2.4. Discusión.....	60
3.2.5. Conclusiones.....	62
3.2.6. Aplicaciones prácticas.....	62
3.2.7. Referencias Bibliográficas.....	63
4. Discusión y conclusiones.....	69
5. Bibliografía.....	73
6. Anexos.....	87
6.1 Informe del Comité Ético.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Índice	Pág.
Tabla 01. Descripción y canales de los sensores del dispositivo inercial Wimu.....	12
Tabla 02. Sistemas contemporáneos utilizados para el análisis de la carga del fútbol.....	27
Tabla 03. Análisis de las demandas de velocidad en relación a la distancia de partidos y entrenamientos.	58
Tabla 04. Análisis de las demandas de velocidad en relación al tiempo de partidos y entrenamientos.	58
Tabla 05. Análisis de las demandas de FC en relación a la distancia de partidos y entrenamientos.	59
Tabla 06. Análisis de las demandas FC en relación al tiempo de partidos y entrenamientos.	59
Tabla 07. Análisis de las demandas de aceleración (acel/min) de partidos y entrenamientos.	60
Tabla 08. Análisis de los parámetros cuantitativos generales de partidos y entrenamientos.....	60

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Índice	Pág.
Ilustración 01. Diagrama de dispersión de las variables FC (Wimu) y FC (Polar) (Elaboración propia).....	43

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

SIGLAS	DESCRIPCIÓN
bmp	Latidos por minuto
Lat/min	Latidos por minuto
FC	Frecuencia cardiaca
rmp	Revoluciones por minuto
SmO ₂	% de saturación de oxígeno en músculo
THb	Total de hemoglobina concentrada (g/dl)
VO _{2max}	Volumen Máximo de Oxígeno

1. INTRODUCCIÓN

Es importante conocer las exigencias físicas, fisiológicas y energéticas de la competición en fútbol, con el fin de mejorar el entrenamiento y proporcionar un control más completo y objetivo (Barbero-Álvarez, Coutts, Granda, Barbero-Álvarez, & Castagna, 2010).

El perfil de la actividad durante un partido revela una incesante actividad en la que el jugador es capaz de cambiar entre 1000 y 1500 veces de acción (Torres-Luque, Calahorra, Lara, & Zagalaz, 2011). Durante la competición, se alternan carreras a diferentes intensidades y periodos de descanso, destacando el carácter “acíclico” e intermitente, fundamentalmente en saltos y desplazamientos cortos con cambios de dirección y ritmo, que suelen determinar el éxito del evento (López, 1993). En relación a ello, existen escasos estudios que analicen la carga físico-fisiológica de jugadores en formación (Castagna, D' Ottavio, & Abt, 2003; Stroyer, Hansen, Klausen, 2004; Barbero-Álvarez, Granda, Soto-Hermoso, 2004).

En las dos últimas décadas ha existido un interés creciente en el ámbito académico y profesional sobre el análisis de los patrones de movimiento y de las acciones técnico-tácticas que acontecen durante los partidos oficiales de fútbol profesional (Bradley, Di Mascio, Peart, Olsen, & Sheldon, 2010; Bradley et al., 2011; Di Salvo et al., 2007; Lago, 2009; Mo Krstrup, & Bangsbo 2003; Rampinini, Coutts, Castagna, Sassi, & Impellizzeri, 2007). Este aumento de la producción científica ha estado catalizado por la constante incorporación de nuevas técnicas e instrumentos de análisis y medición entre los que destacan el sistema de posicionamiento global (GPS) y el sistema automático de posicionamiento por multi-cámara (Gómez-Díaz, Pallares, Díaz, & Bradley, 2012). Estudios recientes que emplearon estas tecnologías analizaron las diferencias que existen en el volumen (distancia cubierta) e intensidad (velocidad de carrera) entre jugadores de diferentes roles o posiciones dentro del terreno de juego (Bradley et al., 2010; Di Salvo et al., 2007; Lago, 2009; Mohr, Krstrup, & Bangsbo, 2003).

Un adecuado control de la carga de entrenamiento se ha mostrado crucial para optimizar el rendimiento en futbolistas de alto nivel (Gómez-Piriz, Jiménez-Reyes, & Ruiz-Ruiz, 2011). No obstante, esta cuantificación de la carga interna del jugador por medio de marcadores fisiológicos (Frecuencia Cardiaca (FC) o acidosis metabólica) requiere de una cantidad ingente de recursos materiales y humanos muy pocas veces accesible de forma regular incluso en el fútbol profesional. Parece aconsejable por lo tanto desarrollar herramientas alternativas que permitan estimar de forma práctica y con índices aceptables de validez la respuesta interna del futbolista ante los diferentes estímulos de entrenamiento y competición (Gómez-Díaz et al., 2012).

Dispositivos inerciales tales como Wimu se utilizan dentro de una variedad de situaciones deportivas para cuantificar las exigencias físicas de los entrenamientos y partidos de los deportes en general (Coutts & Duffield, 2010; Barbero-Álvarez & Castagna, 2007; Rupf, Thomas, & Wells 2007; Macleod, Morris, Nevill, & Sunderland, 2009; Duncan, Badland, & Mummery, 2009; Edgecomb & Norton, 2006; Barbero-Álvarez et al., 2010;) y, del fútbol, en particular (Hewitt, Withers, & Lyons, 2007; Pino, Martínez-Santos, Moreno, & Padilla, 2007; Harley et al., 2010; Randers et al., 2010; Harley et al., (2011). Así, es muy importante conocer la validez y precisión del dato de dichas mediciones ya que se utilizan en contextos reales del juego.

Wimu es un dispositivo inercial desarrollado por la empresa RealtrackSystems que integra diferentes sensores.

Tabla 1. Descripción y canales de los sensores del dispositivo inercial Wimu.

SENSORES (UNIDAD)		
SENSOR	DESCRIPCIÓN	CANALES
ACEL (g)	Acelerómetro 3D de hasta 100 g (1 g=9.81m/s ²). Se usa para medir la aceleración inercial.	X (g), Y (g), Z (g).
ACELT (g)	Aceleración total, suma vectorial de	Total (g).

	ACEL.	
GYRO (°/s)	Giroscopio 3D de 2000°/s. Se usa para medir la velocidad angular.	X (°/s), Y (°/s), Z (°/s).
MAG (gauss G)	Magnetómetro 3D de hasta 8 Gauss. Se usa para medir el campo magnético.	X (G), Y (G), Z (G).
BAR (kPa)	Barómetro de hasta 120 kPa (kilo pascales). Se usa para medir la presión atmosférica.	TEMP (°), PRESS (kPa), ELEVATION (m).
GPS	GPS de 5Hz compatible con Galileo (Europa). Se usa para medir la posición en la tierra.	LATITUD (grados), LONGITUD (grados), SPEED (km/h), ALTITUD (m), SATCOUNT (nº satélites), DATETIME (Hora satelital en segundos), MAG (Brújula GPS en grados), DISTANCIA (distancia en metros).
STATUS	Estado de la batería. Mide el nivel de batería.	BATTLevel (del 1 al 10).
PUSH_UP	Botón de encendido WIMU. Mide cuando se deja de pulsar (sueitas) el botón.	COUNT (Número de veces que has dejado de pulsar), PRESED_MS (Tiempo en milisegundos desde que pulsas el botón hasta que lo sueitas).
PUSH_DOWN	Botón de encendido WIMU. Mide cuando pulsas el botón.	COUNT (Número de veces que has pulsado).
ATTITUDE	Sensor que calcula la actitud de WIMU (Inclinación respecto a la tierra de wimu) y su aceleración respecto a la tierra.	PHI, THETA, PSI (Ángulos Euler en el estándar de navegación aérea, en grados), AC_Eaerth_X, AC_Eaerth_Y, AC_Eaerth_Z (Aceleraciones de WIMU respecto a la tierra, sin contar con la gravedad de la tierra en g), EULER_X, EULER_Y, EULER_Z (Ángulos Euler respecto a la tierra, X ángulo respecto al norte de la tierra, Y ángulo lateral respecto a la tierra, Z ángulo anterior-posterior respecto a la tierra, en grados).

ANT	Sistema Inalámbrico ANT+ (Garmin) compatible con los sensores exteriores (opcionales):	HRM	HeartRate (bpm), R-R, (tiempo en milisegundos de pulso a pulso), BeatCount (contador de número de pulsos).
	HRM		
	Monitor de frecuencia Cardiaca.		
	BIKE_SPD_CAD	BIKE_SPD_CAD	
	Velocidad y cadencia para bicicleta.	RPM (revoluciones por minuto), SPEED (Velocidad, km/h).	
	SDM	SDM	
	Podómetro.	SDM	
	MOXY	MOXY	DIST (Distancia en metros), SPEED (Velocidad en km/h), STRIDES (contador de pasos), CADENCE (número de pasos por minuto).
	Monitor de saturación de oxígeno en músculo.		
	RRclasf	MOXY	THb (Total de hemoglobina concentrada g/dl), SmO2 (% de saturación de oxígeno en músculo).
	Clasificación R-R del monitor de frecuencia cardiaca.		
		RRclasf	Level (código clasificación 5= pulso anormal).

1.1 Validez de registro de los instrumentos empleados para la cuantificación de la carga en fútbol.

Estudiar la actividad que el futbolista realiza durante el partido es imprescindible para planificar su entrenamiento, ajustando así de la manera más precisa posible los medios y procedimientos que permitan preparar al jugador y obtener de él un mayor rendimiento en el juego (Ballesta-Castells, García-Romero, Fernández-García, Alvero-Cruz, in press). La gran variedad de técnicas utilizadas para ello ha ido desde la observación y anotación en tiempo real, hasta el vídeo análisis computarizado realizado durante o tras la finalización del juego (Ballesta-Castells et al., in press). A pesar de que los sistemas de registro manual han demostrado ser prácticos y accesibles, su validez y fiabilidad depende de ciertos

factores, como el número y experiencia acumulada de los observadores utilizados o la perspectiva desde la que realizan su observación (Barris & Button, 2008; De la Vega-Marcos, Del Valle-Díaz, Maldonado-Rico, & Moreno-Hernández, 2008), requiriéndose además mucho tiempo para recoger y analizar los datos (Di Salvo, Collins, Mc Neill, & Cardinale, 2006). Además, los métodos tradicionales de análisis del movimiento son muy laboriosos e inviables para utilizar en entrenamientos, por lo que su aplicación han quedado restringida a proyectos de investigación desarrollados en la Universidad (Carling, Bloomfield, Nelsen, & Reilly, 2008).

El actual desarrollo tecnológico ha incorporado adelantos que hacen posible de manera rápida y fiable la recogida y procesamiento de datos en tiempo real, y es por ello que cada vez se opta más por un análisis del movimiento asistido por ordenador (computer-aided motion analysis, computerized time-motion analysis, computer-based tracking) y/o basado en el seguimiento automático de la imagen (vision-based motion analysis, automatic tracking system) en detrimento de los sistemas tradicionales (Ballesta-Castells et al., in press). Un método contemporáneo para analizar el movimiento del jugador durante el juego es a través de la utilización del GPS, que es un sistema global de navegación que permite obtener, gracias a una red de satélites que orbita con trayectorias sincronizadas cubriendo toda la superficie de la Tierra, la posición de un objeto o una persona (Ballesta-Castells et al., in press). Los dispositivos GPS completan un sistema de radionavegación vía satélite desarrollado y gestionado por el departamento de defensa de los EEUU, creado originalmente con fines militares (Castellano & Casamichana, in press). El proyecto que se inició en el año 1973, terminó de complementarse en marzo de 1994 y está totalmente operativo desde julio de 1995, permite determinar en tiempo real por triangulación, la ubicación (coordenadas espaciales) las 24 horas del día, en cualquier lugar de la tierra y bajo cualquier condición atmosférica, tanto de puntos estáticos como en movimiento con un índice de error de pocos metros (Krenn et al., 2011 citado por Castellano & Casamichana, in press; Sánchez-Medina & Pérez-Caballero, 2006 citado por Castellano & Casamichana, in press).

Este sofisticado sistema, que hoy se utiliza con regularidad, es posible gracias al descubrimiento de la resonancia magnética que permitió a su vez la creación de relojes atómicos de elevada precisión y que son la base de esta tecnología (Rigden, 2000 citado por Castellano & Casamichana, in press).

El sistema GPS se divide en tres segmentos: espacial, control y usuario. Los segmentos espaciales y control son gestionados por EEUU (aunque esperamos que de aquí a algunos años el sistema europeo GALILEO pueda estar en funcionamiento, lo que mejorará substancialmente las prestaciones de los dispositivos). El segmento espacial está formado por 27 satélites emisores de las señales. El segmento control está constituido por un conjunto de estaciones de elevada precisión situadas estratégicamente en la tierra, incluyendo una estación principal o maestra y varias antenas terrestres. Finalmente, el segmento usuario corresponde a los receptores GPS que han sido diseñados para recibir y decodificar las señales transmitidas por los satélites (Castellano & Casamichana, in press).

Los satélites transmiten señales a los receptores GPS para determinar la ubicación, velocidad y dirección de los dispositivos (Schutz & Herren, 2000 citado por Castellano & Casamichana, in press).

La tecnología GPS consiste, fundamentalmente, en un sistema de medición de tiempos, cuyo punto de referencia es el cálculo del tiempo de retardo entre la emisión de las señales a través de los satélites y la llegada de dicha señal a los dispositivos receptores GPS. Un receptor GPS debe recibir la señal de al menos tres satélites para localizar la posición (Larsson, 2003 citado por Castellano & Casamichana, in press).

Utilizando esta información, un dispositivo de estas características puede calcular y registrar información referente a la velocidad y la distancia recorrida principalmente (Reid, Duffield, Dawson, Baker, & Crespo, 2008). Cada satélite está equipado de un reloj atómico, que se sincroniza con el receptor GPS. Entonces el

satélite envía información horaria (a la velocidad de la luz) referente de la hora exacta al receptor GPS (Castellano & Casamichana, in press).

Comparando el tiempo dado por los satélites y el tiempo del receptor GPS, se calcula el tiempo del recorrido realizado por la señal. Posteriormente se estima la distancia recorrida por la señal, ya que se conoce el tiempo de trayecto y la velocidad a la cual es realizado dicho trayecto (Larsson, 2003 citado por Castellano & Casamichana, in press).

Diversas referencias han contrastado la fiabilidad del sistema para ser utilizado en la práctica del ejercicio físico en cada uno de sus formatos de recepción: “nondifferential GPS” (Witte & Wilson, 2004; Townshend, Worringham, & Stewart, 2008; Macleod et al., 2009), “differential GPS” (Schutz & Herren, 2000; Terrier, Ladetto, Merminod, & Schutz, 2001; Terrier & Schutz, 2003) y “WAAS-enabled GPS” (Witte & Wilson, 2004).

La incorporación de la tecnología GPS al entrenamiento permite monitorizar, entre otros parámetros, las trayectorias, distancias y velocidades realizados por los deportistas de una manera válida, fiable (Coutts & Duffield, 2010; Gray, Jenkins, Andrews, Taafee, & Glover, 2010; Macleod et al., 2009; Petersen, Pyne, Portus, & Dawson, 2009) y rápida, debido a que se realiza un análisis automático de múltiples jugadores al mismo tiempo y los programas permiten realizar análisis sencillos (Edgecomb & Norton, 2006; MacLeod et al., 2009), por lo que representan la manera más práctica de monitorizar los desplazamientos de los deportistas (Hartwig, Naughton, & Searl, 2011).

Randers et al. (2010), analizaron la actividad y el desarrollo de la fatiga de 20 futbolistas durante un partido, comparando para ello los resultados obtenidos por cuatro sistemas: uno manual de análisis tiempo movimiento por vídeo (VTM, Bangsbo, Nørregaard, L., & Thorsøe, 1991), otro semi-automático (AMISCO Pro®, Niza, Francia), y dos receptores de GPS, con una resolución de 5 Hz (MinimaxX®

v2.0, Catapult, Scoresby, Australia) y de 1 Hz (SPI Elite®, GPSports, Camberra, Australia) respectivamente. Los sistemas empleados detectaron de manera significativa una disminución similar en la distancia recorrida por el jugador entre la primera y segunda mitad del partido ($p < 0,001$), por lo que todos ellos parecen ser fiables para el análisis de los patrones de juego. Sin embargo, también existieron diferencias significativas entre los valores absolutos dados por cada uno respecto a las distancias recorridas a diferente velocidad, aspecto a considerar a la hora de comparar resultados a partir de distintos sistemas. Del mismo modo, Harley, Lovell, Barnes, Portas, & Weston, (2011) encontraron diferencias significativas en la carrera a distinta velocidad en 6 jugadores profesionales durante el partido ($p < 0,05$) al comparar los resultados arrojados por un sistema semi-automático de vídeo (ProZoneSports Ltd., Leeds, Reino Unido) y un receptor de GPS (MinimaxX® v2.0, Catapult, Scoresby, Australia).

El GPS incorporado a los dispositivos inerciales (Zubillaga, 2006; Casamichana & Castellano, 2011) es un sistema fiable y contrastado para cuantificar la carga de entrenamiento y registrar diferentes tipos de desplazamientos y movimientos corporales en tiempo real en la práctica del fútbol, quedando sin embargo su uso limitado al ámbito del entrenamiento, al no poder incorporarse al equipamiento durante las competiciones oficiales.

El dispositivo inercial Wimu incorpora la tecnología inalámbrica ANT+. Esta tecnología ha sido diseñada por la empresa canadiense Dynastream Innovations Inc., filial de Garmin. Las características principales de los aparatos provistos de tecnología ANT+ son: opera en la banda 2.4GHz, consumo muy bajo (una pila tipo 2032 enviando un mensaje cada 2 segundos puede durar hasta 4 años) y seguridad de datos con clave de 64 bits. Los fabricantes de aparatos de uso deportivo, como RealtrackSystems, Garmin, SRM, Timex y Suunto entre otros, son sólo algunas de una gran variedad de marcas que son compatibles con ANT +. En el mercado actual existen gran variedad de sensores ANT +, sin embargo, terminales que integran el chip ANT + en el dispositivo son escasos. (Pino & Molina-Carmona, 2013).

Destacando la importancia de demostrar la validez de registro de un instrumento de cuantificación de la carga en fútbol (Atkinson & Nevill, 1998; Welk, Schaben, & Morrow, 2004), el primer propósito de este estudio es evaluar la validez del monitor de frecuencia cardiaca (registrado por el sensor para la captura de sensores externos el cual utiliza la tecnología ANT) que incorpora el dispositivo inercial Wimbu. De esta manera acotamos la validez del dato de las diferentes variables utilizadas en la segunda sección de este estudio (distancia, velocidad, tiempo y aceleración lineal (GPS) y FC (sensor de captura de sensores externos) ya que partimos de la validez del GPS mencionada y que encontramos en la literatura (Coutts & Duffield, 2010; Gray et al., 2010; Macleod et al., 2009; Petersen et al., 2009), debiendo profundizar que el registro de la aceleración lineal del sistema se consigue aplicando la derivada a la velocidad obtenida mediante dicho GPS.

1.2 Indicadores de rendimiento en fútbol.

La evaluación y el análisis de las demandas físicas de los jugadores y de los equipos constituyen un aporte de información esencial para los entrenadores (Grosgeorge, 1990; Bloomfield, Polman, & O'Donoghue, 2004), que permite conocer las características de la actividad competitiva en situaciones reales de juego.

De manera muy básica podemos diferenciar entre la carga externa que viene determinada por las variables de volumen, intensidad y duración, es decir, la carga que supone jugar un partido de fútbol (metros recorridos, intensidad de las acciones, los tiempos de esfuerzo y pausa, número de saltos, lanzamientos, etc), y la carga interna o reacción biológica de los sistemas orgánicos frente a la carga competitiva que se constituye por parámetros fisiológicos y bioquímicos (frecuencia cardiaca, concentración de lactato sanguíneo, valores de plasma y urea, frecuencia ventilatoria, consumo de oxígeno, actividad eléctrica del músculo, etc.) (Manchado, 2007). Además podemos encontrar la carga técnico-táctica referida a los aspectos técnicos y tácticos del juego (Reina & Hernández, 2012; Tenga, Ronglan, & Bahr, 2010; Tapia, 2010; Molina, 2006) y la carga psicológica que engloba los parámetros

psicológicos del mismo (Tapia, 2010; Sánchez-Pérez, 2001; Hernández & Morales, 2010).

1.2.1 Carga interna.

Las demandas fisiológicas del fútbol están representadas por las intensidades a las cuales se llevan a cabo las distintas acciones durante un partido (Reina & Hernández, 2012). Para cuantificar la carga interna en el fútbol se han utilizado varios métodos como el registro de la frecuencia cardiaca, la variabilidad de la FC, el consumo de oxígeno o lactato (Bangsbo, Mohr, Krstrup, 2006; Torres-Luque et al., 2011), aunque estos últimos tienen varios inconvenientes para su uso (Reina & Hernández, 2012). Las reservas de glucógeno muscular, el retardo en su agotamiento y la recuperación de dichas reservas son otros de los indicadores (González, 2010). El perfil antropométrico (talla, peso y porcentaje graso) también han sido identificados como variables que influyen en el rendimiento de los jugadores de fútbol (Rodríguez & Echevoyen, 2005).

Según el estudio de Bangsbo et al. (2006) en partidos y entrenamientos de jugadores de fútbol de élite, dichos jugadores realizan un trabajo intermitente. A pesar de los jugadores que realizan actividades de baja intensidad en más del 70% del partido, las mediciones de la temperatura del cuerpo y de la frecuencia cardíaca nos indican que el consumo medio de oxígeno en los jugadores de fútbol de elite es alrededor del 70% del máximo (VO_{2max}). Esto puede explicarse en parte por las 150-250 acciones intensas y de corta duración que un jugador de élite realiza durante un partido, lo que también indica que las tasas de fosfato de creatina (CP) y de utilización de la glucólisis son de una elevada frecuencia durante un juego. El glucógeno muscular es probablemente el sustrato más importante para la producción de energía, y la fatiga en el final del partido puede estar relacionada con el agotamiento de glucógeno en algunas fibras musculares. Los ácidos grasos libres en sangre (AGL) aumentan progresivamente durante un partido, en parte para compensar la progresiva disminución de glucógeno muscular. La fatiga también se

presenta temporalmente durante los partidos, pero todavía no está claro lo que causa la disminución de la capacidad para llevar a cabo un esfuerzo máximo. Hay importantes diferencias individuales en las exigencias físicas de los jugadores durante un partido correspondiente a la capacidad en función del rol táctico en el equipo (Hartwig, et al., 2011; Casamichana & Castellano, 2011). Estas diferencias deben tenerse en cuenta en la planificación de la formación y las estrategias nutricionales de primera clase jugadores, que requieren un consumo significativo de energía durante una semana.

1.2.2 Carga externa.

En la literatura actual se utilizan factores cinemáticos relacionados con el rendimiento deportivo como el registro de las distancias recorridas, la velocidad a las que se realizan éstas distinguiendo por puestos específicos, la duración de los esfuerzos, la velocidad máxima (Deutsch, Kearney, & Rehrer, 2002; O'Donoghue, 2002; Reilly & Keane, 2002; Mohr et al., 2003; Bachev, Marcov, Georgiev, & Lliev, 2005; Zubillaga, 2006; Di Salvo et al., 2007; Randers et al., 2010). La distancia recorrida a alta velocidad durante los partidos de fútbol se ha destacado como un indicador importante de rendimiento (Mohr et al., 2003).

A medida que aumenta la experiencia del entrenador aumenta progresivamente la opinión afirmativa respecto a que los equipos cuyos jugadores realizan mayor distancia a máxima velocidad tienen más posibilidades de conseguir la victoria (Tapia, 2010).

Sin embargo, Zubillaga (2006) advierte que todas estas investigaciones tienen pocos puntos en común debido a que el tamaño de la muestra y sus características son muy diversas, la excesiva subjetividad en la determinación de las intensidades del desplazamiento de los jugadores en la acción de juego, la gran variabilidad en los protocolos y técnicas de registro, sin establecer referencias al contexto y la escasa argumentación de los niveles de validez y fiabilidad de los instrumentos

utilizados. Zubillaga (2006) presenta en su tesis doctoral el resultado del análisis exhaustivo de 194 partidos de fútbol de la liga española y de competiciones europeas a través del sistema AMISCO®. Recoge la distancia total, la distancia en marcha, la distancia en carrera, la distancia en sprint, la distancia en alta intensidad y la frecuencia de sprint para cada uno de los jugadores y teniendo en cuenta variables como el puesto específico, la competición, los equipos, el nivel de la posesión del balón, el resultado de cada parte, el tiempo efectivo de juego, la parte del partido y el factor campo. Drust et al. (1988) indican que la posición dentro del equipo, el nivel de juego, el estilo de juego, la fatiga, y las condiciones del entorno como la temperatura, la humedad y la altitud inciden en las distancias recorridas por los jugadores. Randers et al. (2010) utilizaron varios sistemas de análisis, incluyendo el GPS y el vídeo análisis, para determinar los metros recorridos teniendo en cuenta el factor de la fatiga.

1.2.3 Carga técnico-táctica.

Según Lago (2008), la varianza del resultado en diferentes partidos de fútbol surge por una parte de las diferencias sistemáticas, que son persistentes e incluyen características fundamentales y predecibles de los equipos como su planteamiento táctico, la apuesta por el dominio de la posesión del balón o no, la calidad individual de los jugadores o el tipo de defensa seleccionada. Por otra parte, surge de las diferencias no sistemáticas, que son transitorias, no podemos predecir su impacto, como los cambios producidos por alteraciones meteorológicas o los errores arbitrales.

Los indicadores técnicos y biomecánicos son una expresión exclusiva del rendimiento individual, que no del colectivo, que quizás permitan entender mejor al jugador pero no al juego (Reina & Hernández, 2012).

Las medidas más amplias de la efectividad ofensiva, tales como oportunidades de gol y tiros a gol, se usan comúnmente como alternativa a los goles marcados debido

a la baja probabilidad de dar un resultado natural (cerca de 1%) en el fútbol (Tenga et al., 2010).

Partiendo de esto, en diferentes investigaciones se consideran indicadores como el número de disparos a puerta (Hughes, Robertson, & Nicholson, 1988; Castellano, Perea, & Hernández-Mendo, 2008; Tapia, 2010), y el número de centros y remates (Molina, 2006), entre otros.

Lago et al. (2010) realizan un análisis secuencial retrospectivo de las acciones que preceden al lanzamiento a portería y consideran dichas acciones como indicadores de éxito.

López & Noa (2003) destacan indicadores como la relación entre goles marcados y el número de ataques a favor; la relación entre goles marcados, tiros a favor y ocasiones de gol; la relación entre goles marcados y los tiros a favor; la relación entre los goles permitidos y acciones defensivas realizadas; la relación entre tiros permitidos y acciones defensivas ejecutadas; y la relación entre goles permitidos y tiros realizados por el equipo adversario. En otra línea, Valez, Areces, Blanco, & Arce (2011) diseñaron una batería de indicadores (iniciativa de juego, carga física, volumen de juego ofensivo, precisión de juego ofensivo y progresión en el juego ofensivo) para evaluar el rendimiento.

Una segunda aproximación al estudio de los parámetros tácticos y estratégicos incide en la posesión del balón como parámetro relevante y de alta significación estratégica en la acción de juego en el fútbol (Reina & Hernández, 2012). No obstante, hasta hace unos años, uno de los hallazgos más aceptados era que la posesión del balón no tenía demasiado que ver con el resultado y/o el rendimiento de los equipos en la competición (Dawson, Dobson, & Gerrard, 2000; Hadley, Poitras, Ruggiero, & Knowles, 2000; Carmichael, Thomas, & Ward, 2001; Gómez & Álvaro, 2002), o su relación era poco evidente (Hughes & Bartlett, 2002; James, Jones, & Mellalieu, 2004). Sin embargo, Lago (2008) defiende que esta

inferencia realizada por los investigadores puede venir por problemas metodológicos.

Existen diferentes investigaciones que relacionan el rendimiento y la posesión de balón de los equipos (Carmichael et al., 2001; Gómez-López & Álvaro, 2002; Lago, Martín, Seirul-lo, & Álvaro 2006, Castellano, 2008). Sin embargo, según Tenga et al. (2010) los contraataques son más eficaces que los ataques elaborados, no teniendo más probabilidad de conseguir gol con las jugadas de larga posesión de balón, aunque el 65,3% de los entrenadores andaluces encuestados opinan que el equipo que tiene mayor porcentaje de posesión de balón tiene más posibilidades de conseguir la victoria (Tapia, 2010).

Por último, una cuestión que debe ser considerada es que no todos los equipos tienen el mismo modelo de juego ni pretenden dominar los mismos aspectos del partido. Esta característica determina que la selección de los indicadores a utilizar para valorar el rendimiento de los equipos deba ser específica e individual para cada equipo (Reina & Hernández, 2012). No pueden ser utilizados los mismos indicadores del rendimiento en dos equipos que tienen diferentes objetivos de juego (Lago & Martín-Acero, 2005). En definitiva, los mismos indicadores del rendimiento pueden tener una potencia explicativa muy diferente para dos equipos distintos o para un mismo conjunto en dos momentos de la competición.

1.2.4 Carga psicológica.

La mayoría de los programas dirigidos a mejorar el rendimiento deportivo utilizan un conjunto de técnicas para desarrollar las habilidades psicológicas de los futbolistas como la relajación, programación de objetivos a corto y largo plazo, imaginación, control de la atención y concentración, auto-instrucciones y otras técnicas cognitivas (Gil-Martínez, Capafons, & Labrador, 1998; Hernández & Morales, 2010).

Desde un prisma psicológico se ha planteado la inteligencia, la creatividad, el control emocional, el estado de maduración psicofísico, la experiencia, las relaciones sociales, el medio ambiente y la competitividad (García-Naveira & Remor, 2011) como indicadores de éxito psicológicos.

Los equipos con una mayor cohesión de equipo y una actitud positiva, moral y ánimo, tienen más probabilidad de conseguir la victoria (Tapia, 2010).

De este modo, los estados de ánimo previos a la competición, influyen en el rendimiento de un equipo de fútbol durante toda la temporada y esta relación está mediada por la variable localización del partido, siendo los partidos jugados fuera de casa donde más se manifiestan los estados de ánimo y su consiguiente influencia en el rendimiento (Sánchez-Pérez, 2001).

1.3 Cuantificación de la carga en fútbol.

Con el fin de poder elaborar el contenido y la estructura del entrenamiento en los deportes de equipo es necesario analizar la competición, así como conocer las características de la actividad competitiva partiendo del análisis cinemático y fisiológico de las situaciones reales de juego. Así mismo, se deben conocer las características del deporte, a qué intensidad se realizan los desplazamientos, cuántos se hacen a lo largo de un partido, qué distancias se suelen recorrer, cuál es el número de interrupciones que se producen, cuánto duran éstas, etc. (Manchado, 2007).

Entre los estudios que analizan los indicadores del rendimiento del jugador durante el partido, existen trabajos sobre el componente técnico táctico del juego, mientras que otros se han centrado en la valoración del esfuerzo físico y/o fisiológico, así como del aspecto social y psicológico (Reina & Hernández, 2012). Uno de los principales objetivos de un entrenador es conseguir un estado óptimo de forma para sus deportistas o equipo. Una programación idónea exige un adecuado

control del entrenamiento y una rigurosa cuantificación de las cargas a las que son sometidos los jugadores (Manchado, 2007).

El rendimiento en los deportes de equipo es una variable multifactorial que depende de diferentes y variados aspectos. De todos ellos el entrenamiento es el factor que mayor efecto tiene sobre el rendimiento deportivo, por delante de la nutrición, el equipamiento, la psicología o cualquier otra área de conocimiento (Manchado, 2007).

Este entrenamiento deportivo está basado en la aplicación de cargas de trabajo durante las sesiones de preparación y las competiciones. Es decir, la carga va a ser la categoría central del entrenamiento, siendo realizada a través de acciones voluntarias, lo que entendemos como los ejercicios físicos, los cuales van a tener una finalidad determinada (Manchado, 2007).

Por tanto, cuando tratamos el término de carga de entrenamiento nos referimos a un valor cuantitativo que representa el trabajo desarrollado durante un entrenamiento o partido de competición. Esta variable puede entenderse como la medida fisiológica de la sollicitación del organismo, provocada por un esfuerzo físico y expresada en éste en forma de reacciones funcionales concretas de una cierta duración y profundidad (Manchado, 2007).

Es evidente que el objetivo primordial del entrenamiento es la mejora del rendimiento deportivo durante la competición, por ese motivo los entrenadores y jugadores utilizan diferentes tipos de variables para valorar la carga de entrenamiento con la intención de que ello se relacione con la mejora del rendimiento deportivo. La relación entre entrenamiento y rendimiento en competición parece ser una relación directa (causa-efecto). Sin embargo, todo esto no es tan simple como parece, por desgracia, la relación entre la cantidad de trabajo realizado y la mejora del rendimiento físico parece ser mucho más compleja que una mera relación causa-efecto, pudiendo existir algunos factores que afecten esta dualidad y

que pueden estar relacionados principalmente con uno de los principios del entrenamiento deportivo, el de la individualidad. Cada persona responde de forma diferente al mismo entrenamiento, pudiendo ser por alguna de las razones siguientes: herencia, maduración, nutrición, motivación descanso y sueño e influencia ambiental, entre otras (Manchado, 2007).

A todo esto debemos añadir la necesidad de un conocimiento exhaustivo de la carga competitiva, ya que apoyándonos en esta información podremos establecer programas de entrenamiento específicos, orientados hacia las capacidades predominantes de cada especialidad deportiva. El conocimiento de las exigencias de la competición debe ser la base que sustente el entrenamiento específico y, en este sentido, son necesarias más investigaciones que proporcionen datos precisos acerca de las demandas de cada jugador, y no sólo de élite, sino también en las categorías inferiores (Manchado, 2007). En la tabla 2, Ballesta-Castells et al. (in press) destacan los principales sistemas contemporáneos existentes para el análisis de la carga en fútbol.

Tabla 2. Sistemas contemporáneos utilizados para el análisis de la carga del fútbol (Ballesta-Castells et al., in press)

Empresa / Institución	Sistema	Tipo	Página Web
Feedback Sport.	Feedback Football®	VA	http://www.feedbacksport.com
Propone Holdings Ltd.	ProZone®	VA	http://www.pzfootball.co.uk
Sport -Universal Process S.A.	AMISCO Pro®	VA	http://www.sport-universal.com
TRACAB.	TCoach®	VA	http://www.tracab.com
Universidad de Campinas.	Dvideo	VA	
Intelligent Cairo Technologies AG.	ASPOGAMO	VA	http://ias.cs.tum.edu/
Venatrack Ltd.	VIS TRACK®	VA	http://www.cairos.com
Mediapro I+D y LFP.	Venatrack®	VA	http://www.venatrack.com
Citech Holdings Pty Ltd.	Mediacoach	VA	http://www.lfp.es
GPSports Systems.	Biotrainer®	GPS	http://www.citechholdings.com
C&M Comunicación y	SPI Elite®	GPS	http://www.gpsports.com
	RealTrackFútbol®	GPS	http://www.realtrackfut

Multi. RealtrackSystems	Wimu	GPS	bol.com http://www.realtracksystems.com
Noldus Information Tech.	Observer Pro®	VM	http://www.noldus.com
Sportstec.	SportsCode®	VM	http://www.sportstec.com
NAC Sport S.L.	Nac Sport®	VM	http://www.nacsport.com
Dartfish Ltd.	Dartfish®	VM	http://www.dartfish.com
Interplay-sports.	IPS Analyzer Pro®	VM	http://www.interplay-sports.com

Nota: VA: vídeo automático; VM: vídeo manual; GPS: Sistema de Posicionamiento Global.

Bloomfield, Jonsson, Polman, & O'Donnoghue, (2005) consideran que, con independencia del instrumental empleado, los investigadores están utilizando un número insuficiente de movimientos, menos de ocho, para definir con detalle las características complejas que definen las demandas físicas del deporte en la actualidad. Además, estos mismos autores mantienen que históricamente los estudios se han centrado en recoger las frecuencias y los valores medios y absolutos de los movimientos individuales, errando sin embargo en determinar las diferentes exigencias fisiológicas que dichas acciones motrices producen. La Bloomfield Movement Classification o BMC (Bloomfield et al., 2004), se ha planteado en este sentido como un método de análisis tiempo-movimiento validado para deportes de equipo como el fútbol (Bloomfield, Polman, & O'Donoghue, 2007), en el que se definen 14 tipos de movimiento con registro temporal, 3 tipos de movimiento instantáneo, 14 direcciones, 4 intensidades, 5 categorías de giro y 7 acciones sobre el balón.

Los dispositivos inerciales tales como Wimu (wireless inertial movement unit) incorporan diferentes sensores (GPS, sensor receptor de frecuencia cardiaca y acelerómetros, entre otros) para cuantificar la carga de entrenamiento y los diferentes tipos de desplazamientos y movimientos corporales en tiempo real en deportes de equipo (Edgecomb & Norton, 2006; Barbero & Castagna, 2007; Rupf, Thomas, & Wells, 2007; Macleod, Morris, Nevill, & Sunderland, 2009; 2009; Duncan

et al., 2009; Barbero-Álvarez et al., 2010; Coutts & Duffield, 2010), así como en el fútbol (Harley et al., 2010; Hewitt et al., 2007; Pino et al., 2007; Randers et al., 2010; Harley et al., 2011). Mientras que la gran ventaja de este sistema se centra en la viabilidad de medir en tiempo real los movimientos de cada jugador y la intensidad a la que los ejecutan, así como las trayectorias del balón, su inconveniente radica en que el instrumental con el que el jugador debe equiparse no está permitido por la normativa FIFA (Fédération Internationale de Football Association), imposibilitando que los estudios que utilizan esta metodología puedan aplicarla en encuentros oficiales de fútbol, por lo que su uso se ve limitado a entrenamientos y partidos amistosos (Bastella, García, Fernández, & Alvero, 2014).

2. OBJETIVOS

- Evaluar la validez del monitor de frecuencia cardiaca (registrado por el sensor para la captura de sensores externos el cual utiliza la tecnología ANT) que incorpora el dispositivo inercial Wimu.
- Analizar las exigencias cinemáticas y fisiológicas de un caso único de un jugador de fútbol base durante la competición y su relación con los entrenamientos, atendiendo a las variables de FC, velocidad y aceleración (intensidad) y distancia y tiempo (volumen).
- Conocer la medida en la cual son reproducidas las exigencias físicas (FC, velocidad, aceleración, tiempo y distancia) de los partidos durante los entrenamientos, y poder actuar en consonancia, aumentando la especificidad de la sollicitación durante el entrenamiento (caso único).

3. INFORMES

3.1. INFORME I: VALIDEZ DEL DISPOSITIVO INERCIAL WIMU PARA EL REGISTRO DE LA FRECUENCIA CARDIACA MEDIANTE UN TEST DE CAMPO EN FÚTBOL

TÍTULO: Informe I: Validez del dispositivo inercial Wimbu para el registro de la frecuencia cardiaca mediante un test de campo en fútbol

RESUMEN

Los avances tecnológicos han contribuido a la mejora de la colección de datos fisiológicos y cinemáticos con relación a la competición y los entrenamientos. Dispositivos inerciales tales como Wimbu se utilizan dentro de una variedad de situaciones deportivas. Así, es muy importante conocer la validez y precisión del dato de dichas mediciones ya que se utilizan en contextos reales del juego por lo que el propósito de este estudio es evaluar la validez del dispositivo inercial Wimbu para registrar la variable de frecuencia cardiaca en relación con un dispositivo validado como es Polar Team 2.

En este estudio participaron 15 jugadores de un equipo de fútbol base de categoría Primera Cadete. Los individuos que componen la muestra llevaron a cabo el test RSA el cual consta de 7 sprints de 30 metros con una recuperación activa entre ellos de 20 segundos. Se aplicó el coeficiente de correlación Rho de Spearman y un gráfico de dispersión mediante el software estadístico SPSS 20.0, obteniéndose un $R^2 = .95$ y una $p = .00$. Se puede concluir que el dispositivo inercial es válido para registrar la frecuencia cardiaca en fútbol.

Palabras claves: Fútbol, validación, frecuencia cardiaca, dispositivo inercial.

TITLE: Report I: Validity of inertial Wimu device for recording heart rate by a field test in football

ABSTRACT

Technological advances have contributed to improving the collection of physiological and kinematic data relative to the competition and training. Inertial devices such as Wimu are used in a variety of sporting situations. Thus, it is very important to know the validity and accuracy of these measurements and data used in real contexts play so the purpose of this study is to assess the validity of the inertial device to record Wimu variable heart rate in relation with a registered device as Polar Team 2.

This study involved 15 players in a football team based in young players category. Individuals in the sample held the RSA test which consists of 7 sprints of 30 meters with an active recovery of 20 seconds. The correlation coefficient and Spearman Rho scatter plot was used by SPSS 20.0 statistical software, obtaining a $R^2 = .95$ and $p = .00$. It can be concluded that the inertial device is valid for recording heart rate in football.

Keywords: Football, validation, heart rate, inertial device.

3.1.1 INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos han contribuido a la mejora de la colección de datos fisiológicos y cinemáticos con relación a la competición y los entrenamientos en los deportes en general (Montgomery, Pyne, & Minahan, 2010; Boyd, Ball, & Aughey, 2011), y en el fútbol, en particular (Casamichana & Castellano, 2011; Bloomfield, Polman, & O'Donoghue, 2007; Santos-Lozano & Garatachea, 2012). Desde los escenarios de la actividad física, la nueva tecnología de medición o registro está permitiendo que los datos de alta calidad se registren en situaciones cada vez más válidas (Achten & Jeukendrup, 2003; Grossman, Wilhelm, & Brutsche, 2010; Jobson, Nevill, & Atkinson, 2009). El dispositivo inercial Wimbu puede medir simultáneamente diferentes variables como FC, aceleración, velocidad, tiempo y distancia, relacionándolas. Estas variables se pueden visualizar en tiempo real, de forma inalámbrica, o descargando dicha información posteriormente en un ordenador.

Dispositivos inerciales tales como Wimbu se utilizan dentro de una variedad de situaciones deportivas (Costa et al., 2013; Casamichana & Castellano, 2011). Las mediciones hechas por dispositivos multi-variables, en cualquier ambiente, deberían conocer la precisión y claridad en cuanto a su validez (Atkinson & Nevill, 1998; Welk, Schaben, & Morrow 2004). La constante acuerdo entre la verdadera (Criterion) y magnitud de medida (Predictor) es el principio subyacente de validez (Brunton, Conway, & Holgate, 2000; Currell & Jeukendrup, 2008). Cualquier nueva tecnología que registre datos reales o de campo debe ser rigurosamente evaluada a través de metodologías controladas, con el fin de conocer la precisión de la medición (Thomas, Nelson, & Silverman, 2005; Welk, 2005). Así, en este trabajo se evalúa la validez del dispositivo inercial Wimbu para registrar la variable de FC en relación con un dispositivo validado como es Polar Team 2.

Destacamos la importancia de demostrar la validez de un instrumento de cuantificación de la carga en fútbol replicando las demandas del juego en sí.

De esta forma, colectivamente, los deportes de equipo se pueden describir como los deportes de múltiples sprints debido al patrón de actividad que caracteriza a este tipo de deportes (Oliver, Williams, & Armstrong, 2006). En un partido de fútbol se realizan entre 120 y 250 cambios de actividad de alta intensidad (Mohr, Krusturp, & Bangsbo, 2003).

Barbero-Álvarez, Coutts, Granda, Barbero-Álvarez, & Castagna, (2010) enfatizan la importancia de incorporar los dispositivos GPS, debido a su fiabilidad y mejor control durante la evaluación de los resultados en pruebas RSA.

La capacidad realizar sprints repetidos (RSA) se define como la capacidad de realizar sprints de corta duración y de manera repetida (Spencer et al., 2004). Las pruebas de RSA han sido diseñadas para replicar un período estresante de juego y son relativamente de corta duración (< 3 min) (Bishop, Spencer, Duffi, & Lawrence, 2001; Wragg, Maxwell, & Doust, 2000), encontrando variabilidad de la frecuencia cardiaca. Reilly (2001) recomienda que el RSA debe estar compuesto por una distancia de sprint de 30 m, repitiéndose 7 veces, con un período activo de recuperación entre sprints de 15 a 25 segundos.

El RSA se define según Spencer, Bishop, Dawson, & Goodman, (2005) como la habilidad para realizar sprints repetidos con una recuperación mínima entre ellos, lo cual es esencial durante la competición en deportes de equipo. Para valorar la RSA, Stolen, Chamari, Castagna, & Wisloff, (2005) exponen que los entrenadores e investigadores del deporte pueden establecer este tipo de pruebas, que oscilan entre 5 y 10 s de duración (por sprints). Durante la realización de las mismas, suelen realizarse entre 6 y 8 repeticiones de sprints en distancias que oscilan entre 30 y 40 m (Barbero-Álvarez, Heredia, Mendez-Villanueva, 2005; Rampinini et al., 2007, Buchheit, Mendez-Villanueva, Delhomel, Brughelli, & Ahmaidi, 2010, Kaplan, 2010), encontrándose tiempos entre 6,00 y 7,89 s (Rampinini et al., 2007; Buchheit et al., 2010; Kaplan, 2010).

Así, el objetivo de este trabajo es evaluar la validez del dispositivo inercial Wimbu para registrar la variable de FC en relación con un dispositivo validado como es Polar Team 2 a través del test RSA.

3.1.2 MATERIAL Y MÉTODOS

Participantes

En este trabajo han participado jugadores de fútbol (n=14) de la categoría Cadete del club deportivo Roldan A.D. (edad $15,40 \pm 0,50$ años, altura $169,26 \pm 0,08$ cm, peso $62,00 \pm 12,32$ kg). Todos los sujetos de este grupo tienen una experiencia en la práctica del fútbol federado superior a 2 años y realizan entrenamientos específicos 3 veces por semana con una duración de 90 minutos por sesión. Así mismo, fueron notificados del diseño de la investigación y de sus requerimientos, beneficios y riesgos, aportando todos los padres o tutores legales de los participantes el consentimiento informado antes de la realización del mismo. Además se obtuvo la valoración favorable, por unanimidad, por parte del Comité Ético de Investigación de la Universidad de Murcia.

Instrumento y procedimiento

Para analizar la validez del dispositivo inercial (wireless inercial movement unit) desarrollado por la empresa Realtracksystems (Almería, España) denominado wimu (www.realtracksystems.com), para el registro de la frecuencia cardiaca, se ha llevado a cabo una comparación con un dispositivo validado como es Polar Team 2. Wimbu es un dispositivo que integra diferentes sensores. Además el dispositivo integra una sensor receptor el cual puede recibir un máximo de 7 señales diferentes de información de sensores externos, el cual utiliza la tecnología ANT+, desarrollada por la empresa ThisisAnt (www.thisisant.com). Por tanto el dispositivo puede recibir los datos de FC capturados por una cinta que integra un emisor con tecnología ANT+.

El procedimiento llevado a cabo para registrar los datos obtenidos en el estudio ha consistido en realizar un test de campo (RSA), en una única sesión y en el horario de entrenamiento habitual de los deportistas, a las 18:00 horas, utilizándose la superficie donde entrenan y compiten semanalmente. El test consta de 7 sprints de 30 metros con una recuperación activa entre 20 segundos. Previamente a la realización del mismo, todos los participantes fueron medidos y pesados. Tras estas mediciones, los sujetos recibieron instrucciones acerca del protocolo del mismo, en primer lugar desde el punto de vista teórico y, posteriormente, tras la colocación de los dispositivos, practicaron la ejecución de dicho test. Para dicha ejecución, los jugadores se equiparon individualmente, con las dos cintas de recogida de datos. El equipamiento de Wimbu estaba compuesto por una cinta de frecuencia cardíaca colocada en el pecho y el dispositivo inercial Wimbu situado en un arnés específico diseñado para tal fin. En cuanto al equipamiento de Polar estaba constituido por una cinta de frecuencia cardíaca situada en la parte inferior a la cinta del dispositivo Wimbu.

Para poder sincronizar los datos de los dispositivos, se registró la FC de Polar Team 2 en tiempo real, pulsando el botón de record del software, a la vez que se pulsaba el botón de la wimbu. Al realizar esta acción, se realiza una marca temporal en el registro de datos de la wimbu, que coincide con el inicio de la recogida de datos de Polar Team 2. De esta forma se garantizaba que los datos estaban sincronizados en el tiempo.

Todos los test se realizaron en la misma superficie, con una climatología estable y una temperatura de 24° sin que ningún agente externo pudiera repercutir en los valores reales obtenidos en las distintas pruebas.

Los datos registrados por wimbu se guardaron en una tarjeta micro sd del dispositivo y fueron analizados por un software determinado denominado quiko, el cual fue desarrollado también por la empresa Realtracksystems. En cuanto a los

datos registrados por Polar se analizaron con el software Polar Team 2. En ambos casos, los datos se exportaron en formato Excel.

Análisis estadístico

Para conocer la correlación existente entre la frecuencia cardíaca registrada por el dispositivo inercial Wimbu y por Polar se aplicará el coeficiente de correlación Rho de Spearman y un gráfico de dispersión mediante el programa estadístico SPSS 20.0.

3.1.3 RESULTADOS

En la figura 1 podemos apreciar como existen relaciones significativas ($p < .01$) en el conjunto de los datos (2732) registramos por ambos dispositivos durante la realización de los test RSA por los diferentes jugadores con una $R^2 = .95$ y una $p = .00$.

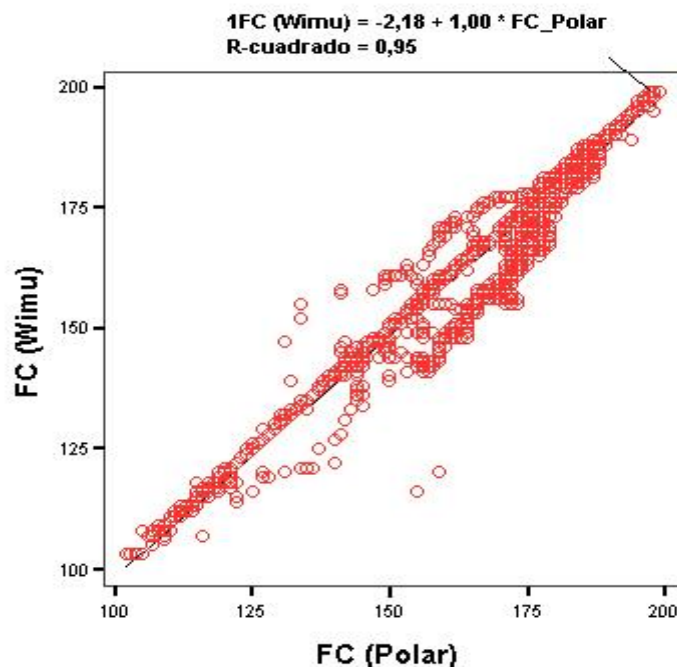


Figura 01. Diagrama de dispersión de las variables FC (Wimbu) y FC (Polar) (Elaboración propia).

3.1.4 DISCUSIÓN

El propósito de este trabajo era evaluar la validez del dispositivo inercial Wimbu para registrar la variable de FC en relación con un dispositivo validado como es Polar Team 2 a través del test RSA.

La validez de registro de los monitores de Polar ha sido ampliamente demostrada comparando sus registros con ECG (Goodie, Larkin, & Schauss, 2000) o hasta con ECG y otros monitores (Terbizan, Dolezal, & Albano, 2002) y obteniendo valores de frecuencia cardíaca que eran válidos en comparación con los valores del ECG. Goodie et al. (2000) determinaron que un monitor de frecuencia cardíaca Polar podría medir con precisión la frecuencia cardíaca de 30 participantes de edad comprendida entre 18 y 48 años en reposo, así como durante dos tasks. Los participantes se midieron simultáneamente por el monitor de frecuencia cardíaca Polar y un ECG. Se encontró que el monitor Polar registró valores de frecuencia cardíaca que eran válidos en comparación con los valores del ECG. Terbizan et al. (2002) comprobó la validez de siete monitores de ritmo cardíaco, incluyendo dos monitores de ritmo cardíaco Polar, mediante la comparación de las medidas obtenidas por los monitores de un electrocardiograma (ECG) de medición. En este estudio, las tasas de corazón de 14 hombres ($19,6 \pm 2,3$ años) se midieron simultáneamente por los monitores de ritmo cardíaco y un ECG durante 10 segundos, en reposo y en un tapiz rodante. Los monitores de frecuencia cardíaca se consideraron válidos si se encontraba una correlación entre la frecuencia cardíaca y el ECG de $\geq 0,90$, con un error estándar de estimación de ≤ 5 latidos / min. Ambos monitores de ritmo cardíaco Polar, así como la Accurex II, Cardiochamp y los Cateye-PL 6.000 monitores, resultaron ser precisos tanto en reposo como durante la realización de ejercicio.

A partir de estos estudios los monitores Polar han sido utilizados para demostrar la validez de otros dispositivos, como en el estudio de Barbosa (2008) el

cual obtuvo correlaciones altas en el registro de la frecuencia cardiaca del SenseWear HR brazaletes en comparación con el monitor de Polar.

Barbosa (2008) en su estudio comprobó la validez de SenseWear HR brazaletes en la medición de la frecuencia cardíaca en comparación con el ECG, Actiheart Mini Mitter y Polar. En general, el SenseWear HR brazaletes obtuvo correlaciones altas en el registro de la frecuencia cardiaca en comparación con el ECG, Actiheart Mini Mitter y el monitor de Polar.

Los resultados de este estudio muestran correlaciones altas del registro de la FC por el dispositivo inercial Wimbu y Polar Team 2, obteniendo una $R^2 = .95$ y encontrando relaciones significativas entre ambas variables $p = .00$.

3.1.5 CONCLUSIONES

El dispositivo inercial es válido para registrar la frecuencia cardiaca en fútbol.

3.1.6 APLICACIONES PRÁCTICAS

El dispositivo inercial Wimbu se puede utilizar en los partidos y entrenamientos de los deportes colectivos en general o del fútbol, en participar, para cuantificar las demandas físicas en relación a la FC que tienen estos deportes en cuestión y así llevar a cabo una planificación de la carga de entrenamiento con referencia a esta variable fisiológica.

3.1.7 BIBLIOGRAFÍA

Achten, J., & Jeukendrup, E. (2003) Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Medicine*, 33(7), 517-538.

- Atkinson, G., & Nevill, A. M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Medicine*, 26(4), 217-238.
- Barbero-Álvarez, J. C., Coutts, A., Granda, J., Barbero-Álvarez, V., & Castagna, C. (2010). The validity and reliability of a global positioning satellite system device to assess speed and repeated sprint ability (RSA) in athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(2), 232-235.
- Barbero-Álvarez, J. C., Heredia, J. M., & Mendez-Villanueva, A. (2005). Relationship between the Yo-Yo test and repeated-sprint ability in team-sport athletes. *Journal of Sports Sciences*. 23, 11-12.
- Barbosa, M. (2008). *Validation of the Sensewear HR armband for measuring heart rate and energy expenditure*. (Tesis fin de máster). Cleveland State University, United States.
- Bishop, D., Spencer, M., Duffield, R., & Lawrence, S. (2001). *The validity of a repeated sprint ability test*. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 4, 19-29.
- Brunton, A., Conway, J. H., & Holgate, S. T. (2000). Reliability: what is it, and how is it measured? *Physiotherapy*, 86(2), 94-99.
- Bloomfield, J., Polman, R., & O'Donoghue, P. G. (2007). Reliability of the Bloomfield Movement Classification. *International Journal of Performance Analysis of Sport-e*, 7(1), 20-27.
- Boyd, L. J., Ball, K., & Aughey, R. J. (2011). The reliability of MinimaxX accelerometers for measuring physical activity in Australian football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6, 311-321.
- Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Delhomel, G., Brughelli, M., & Ahmaidi, S. (2010). Improving Repeated Sprint Ability in Young Elite Soccer Players: Repeated Shuttle Sprints vs. Explosive Strength Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 24(10), 2715-2722.
- Casamichana, D., & Castellano, J. (2011). Demandas físicas en jugadores semiprofesionales de fútbol. *Revista de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad Católica de San Antonio*, 17, 121-128.

- Costa, E. C., Vieira, C. M. A., Moreira, A., Ugrinowitsch, C., Castagna, C., & Aoki, M. S. (2013). Monitoring External and Internal Loads of Brazilian Soccer Referees during Official Matches. *Journal of Sports Science and Medicine*, 12, 559-564.
- Currell, K., & Jeukendrup, A. E. (2008) Validity: reliability and sensitivity of measures of sporting performance. *Sports Medicine*, 38(4), 297-316.
- Goodie, J. L., Larkin, K. T., & Schauss, S. (2000). Validation of the Polar heart rate monitor for assessing heart rate during physical and mental stress. *Journal of Psychophysiology*, 14(3), 159-164.
- Grossman, P., Wilhelm, F. H., & Brutsche, M. (2010) Accuracy of ventilatory measurement employing ambulatory inductive plethysmography during tasks of everyday life. *Biological Psychology*, 84, 121-128.
- Jobson, S. A., Nevill, A. M., & Atkinson, G. (2009). Choose your primary outcome variables with care. *Journal of Sports Sciences*, 27(4), 313-314.
- Kaplan, T. (2010). Examination of repeated sprinting ability and fatigue index of soccer players according to their positions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(6), 1495-1501.
- Mohr, M. Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of sport Sciences*, 21, 519-528.
- Montgomery, P., Pyne, D., & Minahan, C. (2010). The Physical and Physiological Demands of Basketball Training and Competition. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5, 75-86.
- Rampinini, E., Bishop, D., Marcora, S. M., Ferrari-Bravo, D., Sassi, R., & Impellizzeri, F. M. (2007). Validity of Simple Field Tests as Indicators of Match-Related Physical Performance in Top-Level Professional Soccer Players. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3), 228-235.
- Reilly, T. (2001). Assessment of performance in team games. *European Journal of Sport Science*, 1, 1-16.
- Santos-Lozano, A & Garatachea, N. (2012). Tendencias actuales de la acelometría para la cuantificación de la actividad física. *Revista Iberomericana de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 1(1), 24-32.

- Spencer, M., Bishop, D., Dawson, B., Goodman, C. (2005). Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities: specific to field-based team sports. *Sports Medicine*, 35(12), 1025-1244.
- Spencer, M., Lawrence, C., Rechichi, D., Bishop, B., Dawson, B., & Goodman, C. (2004). Time-motion analysis of elite field hockey, with special reference to repeated-sprint activity. *Journal of Sports Sciences*, 22, 843-850.
- Stolen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisloff, U. (2005). Physiology of soccer: An update. *Sports Medicine*, 35, 501-536.
- Terbizan, D. J., Dolezal, B. A., & Albano, C. (2002). Validity of seven commercially available heart rate monitors. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 6(4), 243-247.
- Thomas, J. R., Nelson, J. K., & Silverman, S. (2005). *Research methods in physical activity* (5ta ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Welk, G. J. (2005) Principles of design and analyses for the calibration of accelerometry-based activity monitors. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 37(11), 501-511.
- Welk, G. J., Schaben, J. A., & Morrow, J. R. (2004) Reliability of accelerometry-based activity monitors: A generalizability study. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 36(9), 1637-1645.
- Wragg, C. B., Maxwell, N. S, & Doust, J. H. (2000). Evaluation of the reliability and validity of a soccer specific field test of repeated sprint ability. *European Journal of Applied Physiology*, 83, 77-83.

**3.2 INFORME II: ANÁLISIS DE LAS
DEMANDAS FÍSICAS DE PARTIDOS Y
ENTRENAMIENTOS DE UN CASO
ÚNICO EN UN EQUIPO DE FÚTBOL
BASE**

TÍTULO: Informe II: Análisis de las demandas físicas de partidos y entrenamientos de un caso único en un equipo de fútbol base.

RESUMEN

Conocer las demandas que suponen a los deportistas los entrenamientos y los partidos nos indicaría en qué medida el entrenamiento reproduce lo que sucede durante la competición. La especificidad es un principio del entrenamiento que es fundamental para asegurar una adaptación óptima y mejorar el rendimiento. Así los propósitos de este estudio son analizar y conocer la medida en la cual son reproducidas las exigencias físicas (frecuencia cardiaca, velocidad, aceleración, tiempo y distancia) de los partidos durante los entrenamientos, y poder actuar en consonancia, aumentando la especificidad de la sollicitación durante el entrenamiento (caso único).

En este estudio participó 1 jugador de un equipo de fútbol base de categoría Primera Cadete. Se aplicó un estudio de 1 caso enfocado al análisis de la relación de las variables de frecuencia cardiaca, velocidad y aceleración (intensidad) y distancia y tiempo (volumen) (porcentaje de distancia y tiempo en cada categoría de frecuencia cardiaca, velocidad y aceleración), monitorizando 6 partidos y 15 entrenamientos. Se aplicaron medias, desviaciones típicas y la prueba de Man-Whitney mediante el programa estadístico SPSS 20.0. Los resultados muestran que las demandas físicas de la competición son superiores a las de los entrenamientos en este caso único de un equipo de fútbol base cadete. Un gran avance en el ámbito del fútbol sería conocer la medida en la cual son reproducidas las demandas físicas (velocidad, frecuencia cardiaca, aceleración en relación a la distancia y el tiempo) de los partidos durante los entrenamientos, y poder actuar en consonancia, aumentando la especificidad de la sollicitación durante el entrenamiento

Palabras claves: Fútbol, cuantificación, partidos, entrenamientos, dispositivo inercial.

TITLE: Report II: Analysis of the physical demands of matches and training of a single case in a youth football team.

ABSTRACT

Know the demands posed to athletes training and matches would indicate to what extent the training played what happens during the competition. The specificity is a principle of training is essential to ensure optimal fit and improve performance. Thus the purposes of this study are to analyze and understand the extent to which the physical demands are reproduced (heart rate, velocity, acceleration, time and distance) matches during training, and to act accordingly, increasing the specificity of the solicitation during training (one case).

In this study involved one player on a football team based Young players category. One case study focused on the analysis of the relationship of the variables of heart rate, velocity and acceleration (intensity) and distance and time (volume) (percentage of distance and time for each category of heart rate, speed was applied and acceleration), by monitoring 6 games and 15 workouts. Averages, standard deviations and Man-Whitney test were applied using the SPSS 20.0 statistical software. The results show that the physical demands of competition are higher than those of the training in this unique case of young players football team. A breakthrough in the field of football would be knowing the extent to which they are reproduced the physical demands (speed, hear rate, acceleration relative to the distance and time) of matches during training, and to act accordingly, increasing the solicitation specificity during training .

Keywords: Football, quantification, games, practices, inertial device.

3.2.1 INTRODUCCIÓN

La especificidad es un principio del entrenamiento que es fundamental para asegurar una adaptación óptima y mejorar el rendimiento (Reilly, Morris, & Whyte, 2009). A pesar de que los estudios que describen el perfil físico de los futbolistas nos indican que estos datos son importantes para replicar estas demandas durante el entrenamiento, aumentando la especificidad e individualidad del mismo (Bradley, Di Mascio, Peart, Olsen, & Sheldon, 2010; Di Salvo et al., 2007), los estudios sobre el entrenamiento realizado son escasos, y muy poca información ha sido desarrollada en los deportes de equipo a pesar de su gran popularidad en este aspecto (Reilly et al., 2009).

Conocer las demandas que suponen a los deportistas los entrenamientos y los partidos nos indicaría en qué medida el entrenamiento reproduce lo que sucede durante la competición (Casamichana & Castellano, 2011).

Los dispositivos inerciales los cuales incorporan diferentes sensores (GPS, sensor receptor de frecuencia cardiaca y acelerómetros, entre otros) son utilizados para cuantificar la carga de entrenamiento de una manera válida, rápida, fiable y en tiempo real en deportes de equipo (Edgecomb & Norton, 2006; Barbero-Álvarez & Castagna, 2007; Rupf, Thomas, & Wells 2007; Macleod, Morris, Nevill, & Sunderland, 2009; Duncan, Badland, & Mummery, 2009; Barbero-Álvarez, Coutts, Granda, Barbero-Álvarez, & Castagna, 2010; Coutts & Duffield, 2010), así como en el fútbol (Hewitt, Withers, & Lyons, 2007; Pino, Martínez-Santos, Moreno, & Padilla, 2007; Harley et al., 2010; Randers et al., 2010; Harley et al., (2011).

Los trabajos que evaluaban si las demandas físicas del partido son replicadas adecuadamente en el entrenamiento en futbolistas varones eran escasos hasta hace muy pocos años (Carling, Bloomfield, Nelsen, & Reilly, 2008).

En la actualidad, encontramos este tipo de trabajo en otros deportes colectivos como el fútbol australiano (Dawson, Hopkison, Appleby, Stewart, & Roberts, 2004), el rugby (Hartwig, Naughton, & Searl, 2011) o el hockey (Gabbett, 2010), y en menores proporciones, en fútbol (Casamichana & Castellano, 2011) obteniendo diferencias entre entrenamientos y partidos. Así, por ejemplo, en variables tales como: el tiempo invertido en zonas de media y alta velocidad (Gabbett & Mulvey, 2008; Hartwig et al., 2011), la distancia recorrida (Hartwig et al., 2011) o la frecuencia de sprints (Dawson et al., 2004; Hartwig et al., 2011), se han obtenido mayores valores durante los partidos respecto a los entrenamientos. De igual manera, Casamichana & Castellano (2011) en su estudio encontraron diferencias significativas a favor de los partidos en todas las variables analizadas (distancia recorrida por minuto y el porcentaje de tiempo en cada una de las categorías de velocidad: parado-andando (0-6,9 km·h⁻¹), carrera suave (7,0-12,9 km·h⁻¹), carrera rápida (13,0-17,9 km·h⁻¹), carrera alta intensidad (18,0-20,9 km·h⁻¹) y sprint (>21 km·h⁻¹)), excepto en la distancia recorrida a baja intensidad (0–6.9 km·h⁻¹), donde fue superior en los entrenamientos.

La incorporación de los dispositivos inerciales al entrenamiento permiten monitorizar los desplazamientos realizados por los deportistas de una manera válida, fiable (Coutts & Duffield, 2010; Gray, Jenkins, Andrews, Taafee, & Glover, 2010; Macleod et al., 2009; Petersen, Pyne, Portus, & Dawson, 2009), por lo que representan la manera más práctica de monitorizar los desplazamientos de los deportistas (Hartwig et al., 2011).

Objetivos del estudio:

1. Analizar las exigencias cinemáticas y fisiológicas de un caso único de un jugador de fútbol base durante la competición y su relación con los entrenamientos, atendiendo a las variables FC, velocidad y aceleración (intensidad) y distancia y tiempo (volumen).

2. Conocer la medida en la cual son reproducidas las exigencias físicas (FC, velocidad, aceleración, tiempo y distancia) de los partidos durante los entrenamientos, y poder actuar en consonancia, aumentando la especificidad de la sollicitación durante el entrenamiento (caso único).

3.2.2 MATERIAL Y MÉTODOS

Participantes

En este trabajo ha participado 1 jugador de fútbol (caso único) (n=1) de la categoría Cadete del club deportivo Roldan A.D. (edad 15 años, altura 167,00 cm, peso 57,00 kg). El sujeto tiene una experiencia en la práctica del fútbol federado superior a 2 años y realiza entrenamientos específicos 3 veces por semana con una duración de 90 minutos por sesión. Así mismo, fue notificado del diseño de la investigación y de sus requerimientos, beneficios y riesgos, aportando los padres del mismo el consentimiento informado antes de la realización del estudio. Además se obtuvo la valoración favorable, por unanimidad, por parte del Comité Ético de Investigación de la Universidad de Murcia y el permiso de la Federación Murciana de Fútbol.

VARIABLES FÍSICAS

En este estudio se va a aplicar un estudio de 1 caso enfocado al análisis de la relación de las variables de FC y velocidad (intensidad) y distancia y tiempo (volumen) (porcentaje de distancia y tiempo en cada intervalo de FC y velocidad). También se determinará la acel/min y ritm de cada categoría de aceleración y la velocidad media (km/h), velocidad máxima (km/h), FC media (lat/min), FC máxima (lat/min), distancia total recorrida (m), sprints y ratio de cada sesión analizada.

Frecuencia cardiaca: Para el análisis de la variable de FC (lat/min) (intensidad) en relación al tiempo y la distancia (%) (volumen) se determinaron unas

categorías de FC mediante una prueba de esfuerzo incremental maximal que realizó el sujeto en un tapiz rodante, partiendo de una velocidad de 4 km/h con incrementos de 1 km/h cada minuto, en forma de rampa y con una pendiente del 1 %. Durante la prueba se realizaba monitorización electrocardiográfica de 12 derivaciones y control de la tensión arterial. Todo ello se llevó a cabo bajo la supervisión de un médico y dando lugar a las siguientes categorías: FC [<120] (recuperación), FC [120-140] (umbral aeróbico), FC [140-160] (transición), FC [160-180] (umbral anaeróbico), FC [>180] (VO₂MÁX).

Velocidad: Para el análisis de la variable de velocidad (km/h) (intensidad) en relación al tiempo y la distancia (%) (volumen) se determinaron unas categorías de velocidad basadas en las propuestas por Castagna et al., (2003) para jugadores de estas edades: velocidad [0-0,4] (parado), velocidad [0,4-3] (andar), velocidad [3,1-8] (carrera baja intensidad o trote), velocidad [8,1-13] (carrera intensidad media), velocidad [13,1-18] (carrera intensidad alta) , velocidad [<18] (carrera intensidad máxima o sprint).

Aceleración: Para el análisis de la variable de aceleración en función de acel/min y ritmo se emplearon las categorías de aceleración que aparecen innatas en el dispositivo: aceleración [0-2,5] (aceleración positiva baja), aceleración [2,5-4] (aceleración positiva media), aceleración [>4] (aceleración positiva alta), aceleración [-2,5-0] (aceleración negativa baja), aceleración [-4--2,5] (aceleración negativa media), aceleración [>-4] (aceleración negativa alta).

Instrumento y procedimiento

Para analizar las demandas físicas del sujeto en cuestión se utilizó un dispositivo inercial (wireless inercial movement unit) desarrollado por la empresa realtracksystems denominado wimu (www.realtracksystems.com).

Partidos: La monitorización, a través del dispositivo inercial Wimbu, ha sido realizada durante 6 partidos, presentando cada registro una duración media de $81,60 \pm 4,93$ min.

Entrenamientos: 15 sesiones de entrenamiento han sido analizadas a través del dispositivo inercial Wimbu, monitorizándose 2-3 entrenamientos semanales, con una duración media de $88,76 \pm 15,69$ min por entrenamiento.

Para el registro de datos el dispositivo se introducirá en un bolsillo ubicado en la parte superior de la espalda, entre las escápulas y la parte inferior de la espina cervical, para la mejor recepción de la señal de los GPS.

Después del registro, los datos serán descargados a un ordenador personal a través del software Qüiko.

Análisis estadístico

Para conocer si hay diferencias significativas o no entre entrenamientos y partidos se aplicarán medias, desviaciones típicas y la prueba de Man-Whitney mediante el programa estadístico SPSS 20.0.

3.2.3 RESULTADOS

En las diferentes tablas que se presentan a continuación se puede apreciar el análisis de las diferentes variables objeto de estudio estableciendo la relación de partidos y entrenamientos.

En la tabla 3 se muestran las exigencias de velocidad en relación con la distancia (%) entre partidos y entrenamientos. Podemos apreciar como en los intervalos de mayor intensidad (8,1-13), (13,1-18), (>18) existe predominio de los partidos con respecto a los entrenamientos, de modo que en los intervalos de menor

intensidad (0-0,4), (0,5-3), (3,1-8) predominan los entrenamientos en comparación con los partidos y destacando diferencias significativas en todos los intervalos excepto en los intervalos (3,1-8) y (>18).

Tabla 3. Análisis de las demandas de velocidad en relación a la distancia de partidos y entrenamientos.

Velocidad – Distancia (%)			
	Partidos (n=6)	Entrenamientos (n=15)	P<0,05
Parado (0-0,4)	0,30 ± 0,09	1,07 ± 0,52	.00
Andar (0,5-3)	6,50 ± 1,49	12,69 ± 6,17	.00
Carrera baja intensidad (3,1-8)	43,91 ± 3,83	47,57 ± 6,17	.21
Carrera intensidad media (8,1-13)	34,68 ± 4,4239	27,61 ± 5,23	.02
Carrera intensidad alta (13,1-18)	12,49 ± 1,55	8,97 ± 3,53	.02
Carrera intensidad máxima (>18)	2,13 ± 0,41	2,08 ± 1,17	.85

En la tabla 4 se muestran las exigencias de velocidad en relación con el tiempo (%) entre partidos y entrenamientos. Podemos apreciar como en los intervalos de mayor intensidad (3,1-8), (8,1-13), (13,1-18), (>18) existe predominio de los partidos con respecto a los entrenamientos, de modo que en los intervalos de menor intensidad (0-0,4), (0,5-3), predominan los entrenamientos en comparación con los partidos y destacando diferencias significativas en todos los intervalos excepto en el intervalo (>18).

Tabla 4. Análisis de las demandas de velocidad en relación al tiempo de partidos y entrenamientos.

Velocidad – Tiempo (%)			
	Partidos (n=6)	Entrenamientos (n=15)	P<0,05
Parado (0-0,4)	2,50 ± 0,41	8,18 ± 3,40	.00
Andar (0,5-3)	17,29 ± 2,63	28,25 ± 5,12	.00
Carrera baja intensidad (3,1-8)	53,23 ± 2,46	46,47 ± 5,96	.00
Carrera intensidad media (8,1-13)	21,13 ± 4,15	13,58 ± 3,60	.00
Carrera intensidad alta (13,1-18)	5,19 ± 0,91	3,043 ± 1,40	.01
Carrera intensidad máxima (>18)	0,64 ± 0,07	0,52 ± 0,31	.34

En la tabla 5 se muestran las exigencias de FC en relación con la distancia entre partidos y entrenamientos. Podemos apreciar como en el intervalo de mayor intensidad (>18) existe un enorme predominio de los partidos con respecto a los entrenamientos, quedando el resto de intervalos con un predominio de los

entrenamientos en comparación con los partidos y destacando diferencias significativas en todos los intervalos excepto en el intervalo (160-180).

Tabla 5. Análisis de las demandas de FC en relación a la distancia de partidos y entrenamientos.

	FC – Distancia (%)		P<0,05
	Partidos (n=6)	Entrenamientos (n=15)	
Recuperación (<120)	0 ± 0	4,40 ± 4,53	.00
Umbral aeróbico (120-140)	0,29 ± 0,59	16,82 ± 6,66	.00
Transición (140-160)	5,48 ± 2,64	22,73 ± 7,55	.00
Umbral anaeróbico (160-180)	35,80 ± 9,18	36,86 ± 6,38	.92
VO _{2max} (>180)	48,27 ± 12,35	19,16 ± 11,19	.00

En la tabla 6 se muestran las exigencias de FC en relación con el tiempo entre partidos y entrenamientos. Podemos apreciar como en el intervalo de mayor intensidad (>18) existe un enorme predominio de los partidos con respecto a los entrenamientos, además de un predominio aunque menor del siguiente intervalo de mayor intensidad (160-180), quedando el resto de intervalos con un predominio de los entrenamientos en comparación con los partidos y destacando diferencias significativas en todos los intervalos excepto en el intervalo (160-180).

Tabla 6. Análisis de las demandas de velocidad en relación al tiempo de partidos y entrenamientos.

	FC – Tiempo (%)		P<0,05
	Partidos (n=6)	Entrenamientos (n=15)	
Recuperación (<120)	0 ± 0	6,62 ± 6,06	.00
Umbral aeróbico (120-140)	0,494 ± 0,97	23,00 ± 7,73	.00
Transición (140-160)	7,26 ± 2,30	22,88 ± 7,27	.00
Umbral anaeróbico (160-180)	35,91 ± 9,01	30,60 ± 5,98	.14
VO _{2max} (>180)	46,25 ± 12,30	15,83 ± 9,56	.00

En la tabla 7 se muestran las exigencias de aceleración (Acel/Min) entre partidos y entrenamientos. Podemos apreciar como en todos los intervalos existe un predominio de los partidos con respecto a los entrenamientos y encontrando diferencias significativas únicamente en el intervalo (-4—2,5).

Tabla 7. Análisis de las demandas de aceleración (acel/min) de partidos y entrenamientos.

	Acel – Acel/Min		
	Partidos (n=6)	Entrenamientos (n=15)	P<0,05
Aceleración + baja (0-2,5)	7,07 ± 3,20	6,56 ± 3,68	.97
Aceleración + media (2,5-4)	0,71 ± 0,42	0,64 ± 0,41	.91
Aceleración + alta (>4)	0,09 ± 0,08	0,06 ± 0,05	.57
Aceleración - baja (-2,5-0)	6,18 ± 2,61	5,99 ± 3,20	.79
Aceleración - media (-4—2,5)	0,80 ± 0,35	0,75 ± 0,44	.00
Aceleración – alta (>-4)	0,18 ± 0,11	0,11 ± 0,09	.24

En la tabla 8 se muestran las exigencias de partidos y entrenamientos entre cuanto a los parámetros cuantitativos generales se refiere. Podemos apreciar como en todos los parámetros existe un predominio de los partidos con respecto a los entrenamientos, excepto en el de duración total (s), encontrando diferencias significativas únicamente en el ratio, en la velocidad media (km/h) y en la frecuencia cardiaca máxima (lat/min).

Tabla 8. Análisis de los parámetros cuantitativos generales de partidos y entrenamientos.

	Parámetros cuantitativos generales		
	Partidos (n=6)	Entrenamientos (n=15)	P<0,05
Duración total (s)	4901,50 ± 295,82	5325,53 ± 941,24	.27
Distancia total recorrida (m)	8435,84 ± 808,42	7267,89 ± 1268,23	.03
Ratio	103,08 ± 6,80	82,93 ± 8,41	.00
Sprints	10,67 ± 1,21	9,87 ± 7,13	.79
Velocidad media (km/h)	5,98 ± 0,41	4,6711 ± 0,59	.00
Velocidad máxima (km/h)	22,99 ± 1,22	23,93 ± 3,09	.07
FC media (lat/min)	171,30 ± 13,13	153,62 ± 5,04	.04
FC máxima (lat/min)	199,60 ± 1,52	192,38 ± 3,45	.00

3.2.4 DISCUSIÓN

La finalidad del entrenamiento es preparar al deportista para afrontar la competición (Hartwig et al., 2011), sin embargo, pocos trabajos han comparado las demandas de la competición con las del entrenamiento (Casamichana & Castellano). Esta comparación se ha realizado en jugadores adolescentes de hockey (Gabbett, 2010), en jugadores de rugby (Hartwig et al., 2011), en fútbol australiano (Dawson et al., 2004) y en fútbol (Caixinha, Sampalo, & Mil-Homens, 2004; Casamichana &

Castellano, 2011). Aun así son escasos los estudios en fútbol que analicen estas demandas profundizando en las variables conjuntas de velocidad, aceleración, FC (intensidad), distancia y tiempo (volumen). En este sentido, se ha analizado la competición con sesiones de entrenamiento en fútbol teniendo en cuenta esta gran cantidad de variables, lo que aporta una información relevante para conocer en qué medida las demandas del partido se asemejan a la de los entrenamientos realizados; y llegado el caso, optimizar la intervención a través del aumento de la especificidad de los contenidos de entrenamiento en referencia a las demandas de la competición.

En cuanto a la relación de velocidad con la distancia y al contrario del estudio realizado por Caixinha et al. (2004) en jugadores de categoría juvenil, los requerimientos más altos de velocidad se demandan en la competición con respecto a los entrenamientos, encontrando diferencias estadísticamente significativas en todos los intervalos excepto en los intervalos (3,1-8) y (>18), lo cual puede ser debido a las diferentes características de la muestra y del estudio en sí.

Del análisis de velocidad en relación con el tiempo son similares a lo estimado en otros deportes colectivos (Gabbett, 2010; Hartwig et al., 2011) y en el fútbol (Casamichana & Castellano, 2011) se ha observado que durante los partidos los deportistas invierten más tiempo en los intervalos de velocidad alta mientras que durante los entrenamientos el tiempo invertido a intensidades más bajas es mayor, destacando diferencias estadísticamente significativas en todos los intervalos excepto en el intervalo (>18).

Centrándonos en la relación de FC con respecto al tiempo y a la distancia y apoyado por el trabajo de Bangsbo, Mohr, & Krstrup, (2007), las demandas de FC son superiores en los partidos con respecto a los entrenamientos, destacando en este caso como diferencias estadísticamente significativas todos los intervalos excepto el intervalo (160 – 180).

En cuanto a la relación de aceleración con respecto al tiempo y a la distancia y apoyado por el trabajo de Boyd, Luke, Ball, Kevin, Aughey, & Robert, (2013), donde excepto en los ejercicios de espacios reducidos, las demandas de aceleración de los partidos eran superiores a la de los entrenamientos, en este trabajo dichas demandas también son superiores en los partidos con respecto a los entrenamientos, aunque no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en ningún intervalo de este trabajo.

Finalizando con los parámetros cuantitativos generales y tomando como referencia el trabajo de (Casamichana & Castellano, 2011), se puede apreciar como a pesar de que la duración media de los entrenamientos es mayor que la de los partidos, las demandas de distancia total recorrida, sprint, ratio, velocidad media, velocidad máxima, FC media y FC máxima es mayor en los partidos que en los entrenamientos, aunque en este trabajo encontramos diferencias significativas únicamente en el ratio, velocidad media y FC máxima.

3.2.5 CONCLUSIONES

Las demandas físicas de la competición son superiores y de manera estadísticamente significativa, en la mayoría de los casos, a las de los entrenamientos en este caso único de un equipo de fútbol base cadete. Cabe destacar que no se encuentran diferencias estadísticamente significativas y, por lo tanto, hay mayor similitud entre entrenamientos y partidos, en todos los intervalos de aceleración, excepto en el intervalo (-4—2,5).

3.2.6 APLICACIONES PRÁCTICAS

Un gran avance en el ámbito del fútbol sería conocer la medida en la cual son reproducidas las demandas físicas (velocidad, FC, aceleración en relación a la distancia y el tiempo) de los partidos durante los entrenamientos, y poder actuar en consonancia, aumentando la especificidad de la sollicitación durante el

entrenamiento. La optimización de la calidad y cantidad de las demandas de las sesiones de entrenamiento pasa por la incorporación de ciertas pautas de trabajo como diseñar entrenamientos constituidos de actividades o formas donde los requerimientos físicos y energéticos se correlacionen con los de la propia competición, para lo cual es necesario conocer sus demandas físicas.

3.2.7 BIBLIOGRAFÍA

- Boyd, L. J., Ball, K., & Aughey, R. J. (2013). Quantifying external load in Australian football matches and training using accelerometers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(1), 44-51.
- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2007). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences*, 24(7), 665 – 674
- Barbero-Álvarez, J. C., & Castagna, C. (2007). Heart-rate and activity-speed of professional soccer players in match. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(Suppl. 10), 208-209.
- Barbero-Álvarez, J. C., Coutts, A., Granda, J., Barbero-Álvarez, V., & Castagna, C. (2010). The validity and reliability of a global positioning satellite system device to assess speed and repeated sprint ability (RSA) in athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(2), 232-235.
- Boyd, L., Ball, K., & Aughey, R. J. (2013). Quantifying external load in Australian football matches and training using accelerometers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(1), 44-51.
- Caixinha, P. F., Sampalo, J., & Mil-Homens, P. V. (2004). Variação dos valores da distância percorrida e da velocidade de deslocamento em sessões de treino e em competições de futebolistas juniores. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 4(1), 7–16.
- Carling, C., Bloomfield, J., Nelson, L., & Reilly, T. (2008). The role of motion analysis in elite soccer. *Sports Medicine*, 38(10), 839-862.

- Casamichana, D., & Castellano, J. (2011). Demandas físicas en jugadores semiprofesionales de fútbol. *Revista de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad Católica de San Antonio*, 17, 121-128.
- Castagna, C., Impellizzeri, F., Cecchini, E., Rampinini, E., & Alvarez, J. C. (2009). Effects of intermittent-endurance fitness on match performance in young male soccer players. *Journal of Strength Conditioning Research*, 23, 1954-1959.
- Coutts, A., & Duffield, R. (2010). Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1), 133-135.
- Dawson, B., Hopkinson, R., Appleby, B., Stewart, G., & Roberts, C. (2004). Comparison of training activities and game demands in the Australian Football League. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 7(3), 292-301.
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon-Montero, F. J., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International Journal of Sport Medicine*, 28(3), 222-227.
- Duncan, M. J., Badland, H. M., & Mummery, W. K. (2009). Applying GPS to enhance understanding of transport-related physical activity. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(5), 549-556.
- Edgecomb, S. J., & Norton, K. I. (2006). Comparison of global positioning and computer based tracking systems for measuring player movement distance during Australian Football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9(1), 25-32.
- Gabbett, T. J. (2010). GPS analysis of elite women's field hockey training and competition. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(5), 1321-1324.
- Gabbett, J., & Mulvey, J. (2008). Time-Motion analysis of small sided training games and competition in elite women soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 543-552.
- Gray, A. J., Jenkins, D., Andrews, M. H., Taafee, D. R., & Glover, M. L. (2010). Validity and reliability of GPS for measuring distance travelled in field-based team sports. *Journal of Sports Sciences*, 28(12), 1319-1325.

- Harley, J., Barnes, C., Portas, M., Lovell, R., Barrett, S., Paul, D., & Weston, M. (2010). Motion analysis of match-play in elite U12 to U16 age-group soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 28(13), 1391-1397.
- Harley, J. A., Lovell, R. J., Barnes, C. A., Portas, M. D., & Weston, M. (2011). The interchangeability of global positioning system and semiautomated video-based performance data during elite soccer match play. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(8), 2334-2336.
- Hewitt, A., Withers, R., & Lyons, K. (2007). Match analyses of Australian international women soccer players using an athlete tracking device. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(Suppl. 10), 107.
- Hartwig, T. B., Naughton, G., & Searl, J. (2011). Motion analyses of adolescent rugby union players: a comparison of training and game demands. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25, 966-972.
- Macleod, H., Morris, J., Nevill, A., & Sunderland, C. (2009). The validity of a non-differential global positioning system for assessing player movement patterns in field hockey. *Journal of Sports Science*, 27(2), 121-128.
- Petersen, C., Pyne, D., Portus, M., & Dawson, B. (2009). Validity and reliability of GPS units to monitor cricket-specific movement patterns. *International Journal Sports Physiology Performance*, 4(3), 381-393.
- Pino, J., Martínez-Santos, R., Moreno, M. I., & Padilla, C. (2007). Automatic analysis of football games using GPS on real time. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(Suppl. 10), 9.
- Randers, M. B., Mujika, I., Hewitt, A., Santisteban, J., Bischoff, R., Solano, R., (...), & Mohr, M. (2010). *Application of four different football match analysis systems: A comparative study*. *Journal of Sports Sciences*, 28(2), 171-182.
- Reilly, T., Morris, T., & Whyte, G. (2009). The specificity of training prescription and physiological assessment. *A review*. *Journal of Sports Sciences*, 27(6), 575-589.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La utilización de los dispositivos inerciales, en cualquier contexto, debe ir precedida del conocimiento la precisión y claridad en cuanto a su validez (Atkinson & Nevill, 1998; Welk et al., 2004). Cualquier nueva tecnología que registre datos de deportistas debe ser evaluada a través de metodologías controladas, con el objetivo de conocer la precisión de la medición (Thomas, Nelson, & Silverman, 2005; Welk, 2005).

Debido a que el análisis de las demandas físicas de los entrenamientos y los partidos con el dispositivo utilizado se obtiene mediante GPS (velocidad, aceleración, tiempo y distancia) y un sensor de captura de sensores externos de tecnología ANT, tras la realización de este estudio se corrobora la validez del dato del dispositivo inercial Wimu debido a la fiabilidad del GPS encontrada en la literatura (Atkinson & Nevill, 1998; Welk, Schaben, & Morrow, 2004) y tras la validez demostrada ($R^2 = .95$ y $p = .00$) del monitor de frecuencia cardiaca (sensor para la captura de sensores externos).

La comparación de las demandas de los entrenamientos y las exigencias de la competición ayuda a determinar si se necesitan modificaciones dichos entrenamientos para que sus exigencias físicas se aproximen a las de los partidos (Dellaserra, Gao, & Ransdell, in press). A pesar de ello, y debido a la complejidad de los mismos, dichos estudios son muy escasos. Según Dellaserra et al., in press) se pueden destacar 12 artículos que comparen las exigencias de los entrenamientos y la competición (Gabbett, Jenkins, & Abernathy, 2012; Mooney et al., 2011; Hartwig et al., 2011; Petersen, Pyne, Portus, & Dawson, 2010; Montgomery, Pyne, & Minahan, 2010; Gabbett, 2010; Aughey & Falloon, 2010; Castagna, Impellizzeri, Cecchini, Rampinini, & Alvarez, 2009; Gabbett & Mulvey, 2008; Impellizeri et al., 2006; Wisbey, Montgomery, Pyne, & Rattray, 2010; Buchheit, Mendez-Villanueva, Delhomel, Brughelli, Ahmaidi, 2010).

Partiendo de estas investigaciones se puede encontrar apoyo a los resultados de este trabajo donde las demandas de los partidos son superiores a los de los

entrenamientos en los trabajos de (Gabbett, 2010; Hartwig et al., 2011; Petersen et al., 2010), entre otros, aunque también existen referencias que ponen en duda esta cuestión, destacando el predominio de las demandas de los entrenamientos con respecto a las de los partidos (Caixinha, Sampalo, & Mil-Homens, 2004).

Como limitaciones de este trabajo podemos decir que la validación del monitor de FC se realiza mediante su comparación con Polar y a través del test RSA, lo cual se podría mejorar llevando a cabo un ECG. En cuanto al análisis de las demandas de los partidos y los entrenamientos destacar como principal limitación la existencia de un único caso y la reducida muestra de entrenamientos y partidos. Así en futuras investigaciones se podría aumentar dicho número de partidos y entrenamientos, el número de jugadores de la muestra, y añadir un análisis semanal de entrenamientos y partidos.

En cuanto a las aplicaciones prácticas cabe destacar la validación del dato del dispositivo inercial Wimu por lo que se puede utilizar en los partidos y entrenamientos de los deportes colectivos en general o del fútbol, en participar, para cuantificar las demandas físicas en relación a la FC que tienen estos deportes en cuestión y así llevar a cabo una planificación de la carga de entrenamiento con referencia a esta variable física. Un gran avance en el ámbito del fútbol sería conocer la medida en la cual son reproducidas las demandas físicas (velocidad, FC, aceleración en relación a la distancia y el tiempo) de los partidos durante los entrenamientos, y poder actuar en consonancia, aumentando la especificidad de la sollicitación durante el entrenamiento. Este tipo de estudios tienen implicaciones significativas en el campo, para contar con información cuantitativa específica de las diferencias entre los partidos y los entrenamientos y así poder ayudar en el desarrollo de las sesiones y ejercicios de entrenamiento específicos del juego y poder planificar la carga de los entrenamientos de manera adecuada.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Atkinson, G., & Nevill, A. M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Medicine*, 26(4), 217-238.
- Aughey, R. J., & Falloon, C. (2010). Real-time versus post-game GPS data in team sports. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13, 348-349.
- Bachev, V., Marcov, P., Georgiev, P., & Lliev, M. (2005). Analyses of Intensity of Physical Load during a Soccer Match. En T. Reilly, J. Cabri & D. Araujo (Eds.) *Science and Football V* (pp. 231-236). Londres: Routledge.
- Ballesta-Castells, C., García-Romero, J., Fernández-García, J. C., Alvero-Cruz, J. R. (in press). Métodos actuales de análisis del partido de fútbol / Current methods of soccer match analysis. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*.
- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences*, 24(7), 665-674.
- Bangsbo, J., Nørregaard, L., & Thorsøe, F. (1991). Activity profile of competition soccer. *Canadian Journal of Sports Science*, 16(2), 110-116.
- Barbero-Álvarez, J. C., & Castagna, C. (2007). Heart-rate and activity-speed of professional soccer players in match. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(Suppl. 10), 208-209.
- Barbero-Álvarez, J. C., Coutts, A., Granda, J., Barbero-Álvarez, V., & Castagna, C. (2010). The validity and reliability of a global positioning satellite system device to assess speed and repeated sprint ability (RSA) in athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(2), 232-235.
- Barbero-Álvarez, J. C., Gómez, M., Barbero-Álvarez, V., Granda, J., & Castagna, C. (2008). Frecuencia cardíaca y patrón de actividad en jugadoras infantiles de fútbol. *The Journal of Human Sport and Exercise*, 3(2), 1-11.
- Barbero-Álvarez, J. C., Granda, J., & Soto-Hermoso. (2004). Análisis de la frecuencia cardíaca durante la competición en jugadores profesionales de fútbol sala. *Apunts: Educación Física y Deportes*, 77, 71-78.

- Barbero-Álvarez, J. C., Méndez, A., & Bishop, D. (2006). La capacidad para repetir esfuerzos máximos intermitentes: aspectos fisiológicos (II). *Archivos de Medicina del Deporte*, 13(115), 379-389.
- Barris, S., & Button, C. (2008). A review of vision-based motion analysis in sport. *Sports Medicine*, 38(12), 1025-1043.
- Bishop, D., Edge, J., Davis, C., & Goodman, C. (2004). Induced metabolic alkalosis affects muscle metabolism and repeated-sprint ability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36, 807-813.
- Bishop, D., Edge, J., & Goodman, C. (2004). Muscle buffer capacity and aerobic fitness are associated with repeated-sprint ability in women. *European Journal of Applied Physiology*, 92, 540-547.
- Bishop, D., & Spencer, M. (2004). Determinants of repeated sprint ability in well-trained team-sport and endurance-trained athletes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 44, 1-6.
- Bloomfield, J., Polman, R., & O'Donoghue, P. (2004). The "Bloomfield Movement Classification": Motion analysis of individual players in dynamic movement sports. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 4(2), 20-31.
- Bloomfield, J., Jonsson, R., Polman, R., & O'Donoghue, P. (2005). Temporal pattern analysis and its applicability in soccer. En L. Anolli, S. Duncan Jr., M. S. Magnusson & G. Riva (Eds.), *The Hidden Structure of Interaction: From Neurons to Culture Patterns* (pp. 238-250). Amsterdam: IOS Press.
- Bradley, P. S., Carling, C., Archer, D., Roberts, J., Dodds, A., Di Mascio, M., (...), & Krustup, P. (2011). The Effect of Playing Formation on High-Intensity Running and Technical Profiles in English FA Premier League Soccer Matches. *Journal of Sports Sciences*, 29(8), 821-830.
- Bradley, P. S., Di Mascio, M., Peart, D., Olsen, P., & Sheldon, B. (2010). High-intensity activity profiles of elite soccer players at different performance levels. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(9), 2343-2351.
- Bloomfield, J., Polman, R., & O'Donoghue, P. G. (2007). Reliability of the Bloomfield Movement Classification. *International Journal of Performance Analysis of Sport-e*, 7(1), 20-27.

- Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Delhomel, G., Brughelli, M., & Ahmaidi, S. (2010). Improving Repeated Sprint Ability in Young Elite Soccer Players: Repeated Shuttle Sprints vs. Explosive Strength Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24 (10), 2715-2722.
- Caixinha, P. F., Sampalo, J., & Mil-Homens, P. V. (2004). Variação dos valores da distância percorrida e da velocidade de deslocamento em sessões de treino e em competições de futebolistas juniores. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 4(1), 7–16.
- Carling, C., Bloomfield, J., Nelson, L., & Reilly, T. (2008). The role of motion analysis in elite soccer. *Sports Medicine*, 38(10), 839-862.
- Carmichael F., Thomas D. A. & Ward R. (2001). Production and efficiency in Association football. *Journal of Sports Economics*, 2(3), 228-243.
- Casamichana, D., & Castellano, J. (2011). Demandas físicas en jugadores semiprofesionales de fútbol. *Revista de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad Católica de San Antonio*, 17, 121-128.
- Castagna, C., D' Ottavio, S., & Abt, G. (2003). Activity profile of young soccer players during actual match play. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17, 775-780.
- Castellano, J. (2008). Análisis de las posesiones de balón en fútbol: frecuencia, duración y transición. Motricidad. *European Journal of Human Movement*, 21, 189-207.
- Castellano, J., & Casamichana, D. (in press). Deporte con dispositivos de posicionamiento global (GPS): aplicaciones y limitaciones. *Revista de Psicología del Deporte*, 23(2).
- Castellano, J., Perea, A., & Hernández-Mendo, A. (2008). Análisis de la evolución del fútbol a lo largo de los mundiales. *Psicothema*, 20(4), 929-932.
- Coutts, A., & Duffield, R. (2010). Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1), 133-135.

- Dawson, P., Dobson, S., & Gerrard, B. (2000). Stochastic Frontiers and the Temporal Structure of Managerial Efficiency in English Soccer. *Journal of Sports Economics*, 4(1), 24-32.
- De la Vega-Marcos, R., Del Valle-Díaz, S., Maldonado-Rico, A., & Moreno-Hernández, A. (2008). Una nueva herramienta para la comprensión táctica del fútbol. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 8(30), 130-145.
- Dellaserra, C. L., Gao, Y., & Ransdell, L. (in press). Use of Integrated Technology in Team Sports: A Review of Opportunities, Challenges, and Future Directions for Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Deutsch, M. U., Kearney, G. A., & Rehrer, N. J. A. (2002). Compararison of competition work rates in elite club and "Super 12" rugby. En W. Spinks, T. Reilly & A. Murphy. (Eds.), *Science and Football IV* (pp. 160-166). Londres: Routledge.
- Dawson, B., Hopkinson, R., Appleby, B., Stewart, G., & Roberts, C. (2004). Comparison of training activities and game demands in the Australian Football League. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 7(3), 292-301.
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon-Montero, F. J., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance Characteristics According to Playing Position in Elite Soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3), 222-227.
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon-Montero, F. J., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International Journal of Sport Medicine*, 28(3), 222-227.
- Di Salvo, V., Collins, A., Mc Neill, B., & Cardinale, M. (2006). Validation of Prozone®: A new video-based performance analysis system. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 6(1), 108-119.
- Drust, B., Reilly, T., & Rienzi, E. (1988). Analysis of work rate in soccer. *Sports exercice and injury*, 4(4), 151-155.
- Duncan, M. J., Badland, H. M., & Mummery, W. K. (2009). Applying GPS to enhance understanding of transport-related physical activity. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(5), 549-556.

- Edgecomb, S. J., & Norton, K. I. (2006). Comparison of global positioning and computer based tracking systems for measuring player movement distance during Australian Football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9(1), 25-32.
- Gabbett, T. J. (2010). GPS analysis of elite women's field hockey training and competition. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(5), 1321-1324.
- Gabbett, T., Jenkins, D., & Abernathy, B. (2012). Physical demands of professional rugby league training and competition using microtechnology. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15, 80-86.
- Gabbett, J., & Mulvey, J. (2008). Time-Motion analysis of small sided training games and competition in elite women soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 543-552.
- García-Naveira, A., & Remor, E. (2011). Motivación de logro, indicadores de competitividad y rendimiento en un equipo de jugadores de fútbol de competición varones entre 14 y 24 años. *Universitas Psychologica*, 10(2), 477-487.
- Gil-Martínez, J., Capafons, A., & Labrador, F. (1998). Programa psicológico para mejorar los resultados de jugadores de balonmano. *Psicothema*, 10, 271-280.
- Gómez-López, M., & Álvaro, J. (2003). El tiempo de posesión como variable no determinante del resultado en los partidos de fútbol. *El Entrenador Español*, 97, 39-57.
- Gómez-Díaz, A. J., Pallares, J. G., Díaz, A., & Bradley, P. S. (2012). Cuantificación de la carga física y psicológica en fútbol profesional: diferencias según el nivel competitivo y efectos sobre el resultado en competición oficial. *Revista de Psicología del Deporte*, 22(2), 463-469.
- Gómez-Piriz, P. T., Jiménez-Reyes P., Ruiz-Ruiz C. (2011). Relation between total body load and session rating of perceived exertion in professional soccer players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(8), 2100-2103.

- González, J. A. (2010). Nutritional balance and performance in soccer. A real proposal based in the supercompensation of carbohydrates. *Journal of Sport and Health Research*, 2(1), 7-16.
- Gray, A. J., Jenkins, D., Andrews, M. H., Taafee, D. R., & Glover, M. L. (2010). Validity and reliability of GPS for measuring distance travelled in field-based team sports. *Journal of Sports Sciences*, 28(12), 1319-1325.
- Grosgeorge, B. (1990). *Observation et Entrenement en sports collectifs*. Paris: ISEP Publications.
- Harley, J., Barnes, C., Portas, M., Lovell, R., Barrett, S., Paul, D., & Weston, M. (2010). Motion analysis of match-play in elite U12 to U16 age-group soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 28(13), 1391-1397.
- Harley, J. A., Lovell, R. J., Barnes, C. A., Portas, M. D., & Weston, M. (2011). The interchangeability of global positioning system and semiautomated video-based performance data during elite soccer match play. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(8), 2334-2336.
- Hadley, L., Poitras, M., Ruggiero, J., & Knowles, S (2000). Performance Evaluation of National Football League Teams. *Managerial and Decision Economics*, 4(21), 45-56.
- Hartwig, T. B., Naughton, G., & Searl, J. (2011). Motion analyses of adolescent rugby union players: a comparison of training and game demands. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25, 966-972.
- Hernández-Mendo, A., & Morales-Sánchez, V. (2010). Psicología y fútbol profesional: caracterización de un reto pendiente. *Apuntes de Psicología*, 28(2), 237-262.
- Hewitt, A., Withers, R., & Lyons, K. (2007). Match analyses of Australian international women soccer players using an athlete tracking device. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(Suppl. 10), 107.
- Hughes, M., Robertson, K., & Nicholson, A. (1988). Comparison of patterns of play of successful and unsuccessful teams in the 1986 World Cup for soccer. En T. Reilly, K. Lees, K. Davis & W. J. Murphy (Eds.), *Science and Football I* (pp. 363-367). Londres: E. y F.N.

- Impellizeri, F. M., Marcora, S. M., Castagna, C., Reilly, T., Sassi, A., Iaia, F. M., & Rampinini, E. (2006). Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 27, 483.
- James, N., Jones, P. D., & Mellalieu, S. D. (2004). Possession as a Performance Indicator in Soccer. *International Journal of Performance Analysis in Sport* 2004, 4(1), 98-102.
- Lago, C (2008). El análisis del rendimiento en el fútbol. Estado actual y perspectivas de futuro de la investigación. En J. Castellano, J. (Ed.), *Fútbol e innovación* (pp. 89-103). Sevilla: Wanceulen.
- Lago, C. (2009). The influence of match location, quality of opposition, and match status on possession strategies in professional relation football. *Journal of Sports Sciences*, 27, 1463-1469.
- Lago, C., Cancela, J. M., Fernández-Braga, F., López-Graña, M. P., & Veiga, J. (2010). Evaluación de las acciones ofensivas en el fútbol de rendimiento mediante indicadores de éxito en diseños diacrónicos intensivos retrospectivos. *Apunts*, 72, 96-102.
- Lago, C., & Martín-Acero, R. (2005). Análisis de variables determinantes en el fútbol de alto rendimiento: el tiempo de posesión del balón (abriendo la caja negra del fútbol). *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 19(2), 13-20.
- Lago, C., Martín-Acero, R., & Seirul-lo, F. (2007). El rendimiento en el fútbol. Una modelización de las variables determinantes para el F.C. Barcelona. *Apunts*, 90, 51-58.
- López-Thaureaux., & Noa-Cuadrado, H. (2003). Propuesta de indicadores para valorar el rendimiento técnico-táctico de un equipo de fútbol. *Revista Facultad de Cultura Física Holguín*, 1(9), 1-8.
- Macleod, H., Morris, J., Nevill, A., & Sunderland, C. (2009). The validity of a non-differential global positioning system for assessing player movement patterns in field hockey. *Journal of Sports Science*, 27(2), 121-128.
- Manchado, C. (2007). *Análisis del juego de balonmano de élite femenino en relación con la intensidad y el volumen de los desplazamientos y la frecuencia*

- cardiaca individual*.I (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Mohr, M. Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sport Sciences*, 21, 519-528.
- Molina, F.J. (2006). *Fútbol: Recursos y consignas para el entrenamiento técnico-táctico*. Barcelona: Paidotribo.
- Montgomery, P., Pyne, D., & Minahan, C. (2010). The Physical and Physiological Demands of Basketball Training and Competition. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5, 75-86.
- Mooney, M., O'Brien, B., Cormack., S., Coutts, A., Berry, J., & Young, W. (2001). The relationship between physical capacity and match performance in elite Australian football: A mediation approach. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14, 447-452.
- O'Donoghue P. G. (2002). Time-motion analysis of work-rate in English FA Premier League soccer. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 2(8), 36-43.
- Oliver, J. L., Williams, C. A., & Armstrong, N. (2006). Reliability of a Field and Laboratory Test of Repeated Sprint Ability. *Pediatric Exercise Science*, 18, 339-350.
- Petersen, C. J., Pyne, E., Dawson, B., Portus, M., & Kellett, A. (2010). Movement patterns in cricket vary by both position and game format. *Journal of Sports Sciences*, 28, 45-52.
- Petersen, C., Pyne, D., Portus, M., & Dawson, B. (2009). Validity and reliability of GPS units to monitor cricket-specific movement patterns. *International Journal Sports Physiology Performance*, 4(3), 381-393.
- Pino, J., Martínez-Santos, R., Moreno, M. I., & Padilla, C. (2007). Automatic analysis of football games using GPS on real time. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(Suppl. 10), 9.

- Pino, J., Molina-Carmona, I. (2013). Revisión sobre los sistemas tecnológicos empleados en detectar y registrar la frecuencia cardiaca en deporte. *E-Balonmano.com: Revista de Ciencias del Deporte*, 9(2), 91-104.
- Rampinini, E., Coutts, A. J., Castagna, C., Sassi, R. y Impellizzeri, F. M. (2007). Variation in top level soccer match performance. *International Journal of Sports Medicine*, 28, 1018-1024.
- Randers, M. B., Mujika, I., Hewitt, A., Santisteban, J., Bischoff, R., Solano, R., (...), & Mohr, M. (2010). *Application of four different football match analysis systems: A comparative study. Journal of Sports Sciences*, 28(2), 171-182.
- Reid, M., Duffield, R., Dawson, B., Baker, J., & Crespo, M. (2008). Quantification of the physiological and performance characteristics of on-court tennis drills. *British Journal of Sports Medicine*, 42(2), 146-151.
- Reilly, T., & Keane, S. (2002). Estimation of physiological strain on Gaelic football players during match-play. En W. Spinks, T, Reilly & A, Murphy (Eds.), *Science and Football IV* (pp. 157-166). Londres: Routledge.
- Reina, A., & Hernández-Mendo (2012). Revisión de indicadores de rendimiento en fútbol. *Revista Iberoamericana de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 1(1), 1-14.
- Rodríguez, C., & Echegoyen, S. (2005). Características antropométricas y fisiológicas de jugadores de fútbol de la selección mexicana. *Archivos de Medicina del Deporte*, 22(105), 33-37.
- Rupf, R., Thomas, S. & Wells, G. (2007). Quantifying energy expenditure of dribbling a soccer ball in a field test. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(Suppl. 10), 132.
- Sánchez-Pérez, A. (2001). Estados de ánimo y rendimiento deportivo en fútbol: ¿existe la ventaja de jugar en casa? *Revista de psicología del deporte*, 10(2), 197-210.
- Schutz, Y., & Herren, R. (2000). Assessment of speed of human locomotion using a differential satellite global positioning system. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(3), 642-646.

- Stroyer, J., Hansen, L., Klausen, K. (2004). Physiological Profile and Activity Pattern of Young Soccer Players during Match Play. *Medicine. Sciences Sports Exercise*, 36(1), 168-174.
- Tapia, A. (2010). *El entrenador en la dirección de equipos de fútbol y factores determinantes en el resultado del partido*. (Tesis de doctoral). Universidad de Málaga, Málaga.
- Tenga, A., Ronglan., L. T., & Bahr, R. (2010). Measuring the effectiveness of offensive match-play in professional soccer. *European Journal of Sport Science* 2010, 10(4), 269.
- Terrier, P., Ladetto, Q., Merminod, B., & Schutz, Y. (2001). Measurement of the mechanical power of walking by satellite positioning system (GPS). *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(11), 1912 -1918.
- Terrier, P., & Schutz, Y. (2003). Variability of gait patterns during unconstrained walking assessed by satellite positioning (GPS). *European Journal of Applied Physiology*, 90(5-6), 554-561.
- Thomas, J. R., Nelson, J. K., & Silverman, S. (2005). *Research methods in physical activity* (5ta ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Torres-Luque, G., Calahorra, F., Lara., J., & Zagalaz, M. L. (2011). Exigencia competitiva del jugador de fútbol infantil. *Ágora para la Educación Física y el Deporte*, 13(3), 383-395.
- Townshend, A. D., Worringham, C. J., & Stewart, I. B. (2008). Assessment of speed and position during human locomotion using nondifferential GPS. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(1), 124-32.
- Witte, T. H., & Wilson, A. M. (2004). Accuracy of non-differential GPS for the determination of speed over ground. *Journal of Biomechanics*, 37(12), 1891-1898.
- Valez, A., Areces, A., Blanco, H., & Arce, C. (2011). Diseño y aplicación de una batería multidimensional de indicadores de rendimiento para evaluar la prestación competitiva en el fútbol de alto nivel. *International Journal of Sport Science*, 7(23), 103-112.

- Welk, G. J. (2005) Principles of design and analyses for the calibration of accelerometry-based activity monitors. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 37(11), 501-511.
- Welk, G. J., Schaben, J. A., & Morrow, J. R. (2004) Reliability of accelerometry-based activity monitors: A generalizability study. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 36(9), 1637-1645.
- Wisbey, B., Montgomery, P. G., Pyne, D. B., & Rattray, B. (2010). Quantifying movement demands of AFL football using GPS tracking. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13, 531-536.
- Zubillaga, A. (2006). *La actividad del jugador de fútbol en alta competición: análisis de variabilidad* (Tesis doctoral). Universidad de Málaga, Málaga.

6. ANEXOS
