



UNIVERSIDAD DE MURCIA

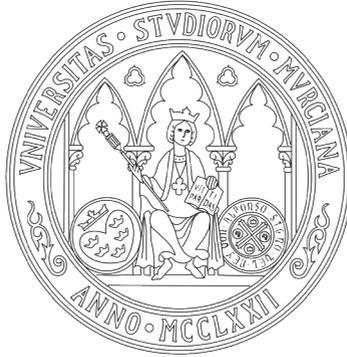
ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

Fútbol y Tecnología.

**Análisis del Rendimiento en Entrenamiento y
Competición en Fútbol Semiprofesional**

D. Pedro José Reche Soto

2020



UNIVERSIDAD DE MURCIA

DEPARTAMENTO DE ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE

FÚTBOL Y TECNOLOGÍA.
ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO EN ENTRENAMIENTO Y
COMPETICIÓN EN FÚTBOL SEMIPROFESIONAL

Pedro José Reche Soto

Directores:

Arturo Díaz Suárez
Donaldo Cardona Nieto
José Pino Ortega

2020



UNIVERSIDAD DE MURCIA

DEPARTAMENTO DE ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE

Facultad de Ciencias del Deporte

Arturo Díaz Suárez

Catedrático en Ciencias del Deporte y Profesor del Departamento de
Actividad Física y Deporte de la Universidad de Murcia

AUTORIZA

La presentación de la tesis doctoral titulada: “**Fútbol y Tecnología. Análisis del Rendimiento en Entrenamiento y Competición en Fútbol Semiprofesional**”, realizada por **D. Pedro José Reche Soto**, bajo mi inmediata dirección y supervisión y que se presenta para la obtención del Grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

Y, para que surta efectos oportunos al interesado, firmo la presente en Murcia, a uno de septiembre de dos mil veinte.

Dº Arturo Díaz Suárez



UNIVERSIDAD DE MURCIA

DEPARTAMENTO DE ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE

Facultad de Ciencias del Deporte

Donaldo Cardona Nieto

Doctor en Ciencias del Deporte y Profesor del Departamento de Actividad Física y Deporte del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

AUTORIZA

La presentación de la tesis doctoral titulada: “**Fútbol y Tecnología. Análisis del Rendimiento en Entrenamiento y Competición en Fútbol Semiprofesional**”, realizada por **D. Pedro José Reche Soto**, bajo mi inmediata dirección y supervisión y que se presenta para la obtención del Grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

Y, para que surta efectos oportunos al interesado, firmo la presente en Murcia, a uno de septiembre de dos mil veinte.

Dº Donaldo Cardona Nieto



UNIVERSIDAD DE MURCIA

DEPARTAMENTO DE ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE

Facultad de Ciencias del Deporte

José Pino Ortega

Doctor en Ciencias del Deporte y Profesor del Departamento de
Actividad Física y Deporte de la Universidad de Murcia

AUTORIZA

La presentación de la tesis doctoral titulada: **“Fútbol y Tecnología. Análisis del Rendimiento en Entrenamiento y Competición en Fútbol Semiprofesional”**, realizada por **D. Pedro José Reche Soto**, bajo mi inmediata dirección y supervisión y que se presenta para la obtención del Grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

Y, para que surta efectos oportunos al interesado, firmo la presente en Murcia, a uno de septiembre de dos mil veinte.

Dº José Pino Ortega

Dedicada a...

Mis padres a quienes les debo absolutamente todo en esta vida.

A los que ya no están aquí y no pueden ver el resultado de años de trabajo: mi tío Ramón, mi amigo Gaspar y mis abuelos Pedro y Ángeles.

A mis sobrinos, Pedro, Amaya y Pablo.

A todas y cada una de las personas que se han cruzado en este camino y me han hecho crecer como profesional y ser mejor persona.

“Yo soy un hombre de acción. Y tú, un teórico. Tenemos que unirnos. La teoría y la práctica compadre. Pondremos en marcha a este pueblo y no habrá quien lo pare. Haremos grandes cosas”
Vargas Llosa

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Pepe y Constanza,
por enseñarme a diario el significado de las palabras trabajo,
esfuerzo y sacrificio.

A mis hermanas, María Ángeles y María José,
por estar siempre disponibles y ayudarme en todo lo que
necesito.

A mis padrinos, Rafa y Marisol,
por ser un apoyo y referente para mí.

A toda mi familia,
por su amor y cariño.

A mi pareja, Miriam,
por su paciencia y comprensión y sobre todo por sus horas en
las gradas de los campos de fútbol.

A mi director Don José Pino Ortega,
por ser el principal artífice de este trabajo y por su confianza en
mí para sacar este trabajo adelante.

A mi director Don Arturo Díaz Suárez,
por su apoyo incondicional y su predisposición a ayudar siempre
que ha sido necesario durante este camino.

A mi director Don Donald Cardona Nieto,
por su sabiduría, consejos y ayuda e implicación a lo largo de
estos años.

A la E.M.F Fuente Álamo,
dirigida por Ginés Bermúdez, Paco Barbero y Chiche.

Al Servicio de Medicina Deportiva de la Concejalía de Deportes del Ayuntamiento de Fuente Álamo, Doctor Paco Esparza, Tomás y Tina.

A la E.M.F. Pinatar, en especial a los jugadores de los equipos Pre-benjamín de las temporadas 2010/2011 y 2012/2013.

Al Mar Menor Club de Fútbol, en especial a los jugadores del equipo Infantil de la temporada 2013/2014.

A la plantilla del equipo de Primera Autonómica de la E.M.F. de la temporada 2014/2015, en especial a Antonio Yuste.

A Juan Antonio García, Luis Franco y Paco Pliego, ya que gracias a su confianza pude dar el salto al fútbol semiprofesional.

A Tomi López y Alberto García, porque hemos reído, hemos llorado, hemos disfrutado, hemos sufrido, hemos comido y hemos bebido (en la cantina de Antonio y Ana), y casi hemos viajado a Roma. Gracias por confiar en mí y en mi trabajo.

A la Deportiva Minera y en especial a la plantilla de la temporada 2015/2016, Rojo, Salva, Cárcelos, Danilo, Tito, Álex, Ortiz, Colina, Víctor Guirao, Manolo, Peque, Saura, Rivo, Chiqui, Ensa, Jaime, Mariano, Mouhssine, Mounir, Cantaruti, Fran Cortés, Nono y Hafid.

A la Deportiva Minera y en especial a la plantilla de la temporada 2016/2017, Miguel, Riqui, Jaime, Samu, Colina, Naranjo, Pani, Dani Ros,

Peque, Jorge Mora, Juanri, Guille, Mani, Fran Cortés, Moi, Gabri, Pinti, Nacho, Bauti y Yassine.

A UCAM C.F y en especial a la plantilla de UCAM C.F B de la temporada 2017/2018,

Cepeda, Luque, Rodri, Johan, Jose Hernández, Parra, Luis Castillo, Salinas, Cobos, Alvarito, Camacho, Pedrosa, Juan, Marcos, Gabri, Ismael, Diego, Belando, Pipo y Nacho Lorenzo.

A mis utilleros preferidos,
Perete, Panizo y Mustafá.

A Decathlon Murcia Oeste,
Jose Luis, Javi, Tamara, Isa y Virginia España.

To my English family,
Stef, Michelle, Lenny, Chuwy, their family and friends. Thank you for letting me be one more of your family.

To my brother Ben, my friend Stephane and Danson Runners.

A RealTrack Systems S.L.,
especialmente a Jose Pérez Cara.

A mis amigos de “Acho Pijo”,
Carlos Ortega, Sergi, Xavi, Delia, Jose Guzmán y Andrés. En especial a Carlos por su ayuda en este trabajo. Sin vosotros no hubiese sido posible. ¿Somos buenos o no?

A mis amigos de “Cervezas y Doritos”,
Jose Castillo, Carlos, Jose Domingo, Guillermo, Enrique, Urrea y Pepe.

A mis amigos de Erasmus Foggia 2010/2011,
Manolo, Andrés, Mario, Sara, Sarali, Blai, Txomin y Chano.

A la generación del 91 de Balsapintada,
Ángeles, Benito, Carlos, Carolina, Cristina, Antonio, Javier,
María Jesús, Silvia Meroño, Silvia Nieto, Virginia, Carolina
Rodríguez y María.

A mis compañeros de la promoción 2009/2013 de Licenciados
en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte,
en especial a Gloria, pero sin olvidar a Mario, Diego, Ángel,
Manuel, Carlos Rodríguez, Jose Antonio Pujante, Rubén López,
Bárbara, Jose Antonio Sánchez, Pepe Cohete, Javi Munguía,
Kike y David Vera.

A Kike Ortega,
por su ayuda en este largo proceso de depósito.

A Carlos Gómez, Alejandro, Markel y Valentín.

A Adrián Hernández y al Real Murcia.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. DISPOSITIVOS DE SEGUIMIENTO ELECTRÓNICO DEL RENDIMIENTO	18
1.1.1. TECNOLOGÍA DE REGISTRO BASADA EN SISTEMAS DE NAVEGACIÓN GLOBAL POR SATÉLITE	18
1.1.2. TECNOLOGÍA DE REGISTRO BASADA EN SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO LOCAL	22
1.1.3. TECNOLOGÍA DE REGISTRO BASADA EN <i>VIDEO TRACKING</i>	26
1.2. SENSORES INERCIALES	30
1.2.1. ACELERÓMETRO	31
1.2.2. GIROSCOPIO	35
1.2.3. MAGNETÓMETRO	36
1.2.4. BARÓMETRO	38
1.3. DEPARTAMENTO DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA DE LA <i>FIFA</i> Y EVOLUCIÓN DE LAS REGLAS DE JUEGO	39
1.4. VARIABLES PARA EL ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO	43

1.4.1. VARIABLES OBTENIDAS A PARTIR DEL POSICIONAMIENTO DEL JUGADOR	44
1.4.1.1. VARIABLES TÁCTICAS	52
1.4.2. VARIABLES OBTENIDAS A PARTIR DE LOS SENSORES INERCIALES	57
1.4.3. VARIABLES OBTENIDAS A PARTIR DE OTRAS SEÑALES: FRECUENCIA CARDIACA	61
1.4.4. VARIABLES PSICOLÓGICAS	65
2. OBJETIVOS	69
3. RESULTADOS: COMPENDIO DE PUBLICACIONES	77
3.1. ARTICULO 1: ANALYSIS OF PHYSICAL DEMANDS OF SMALL-SIDED GAMES IN SEMIPROFESSIONAL-LEVEL FOOTBALL IN FUNCTION OF THE OBJECTIVE AND THE TRACKING TECHNOLOGY UTILISED	80
3.2. ARTÍCULO 2: ACELT AND PLAYER LOAD: TWO VARIABLES TO QUANTIFY NEUROMUSCULAR LOAD	82
3.3. ARTÍCULO 3: PLAYER LOAD AND METABOLIC POWER DYNAMICS AS LOAD QUANTIFIERS IN SOCCER	84
3.4. ARTÍCULO 4: TACTICAL DEMANDS OF SMALL-SIDED GAMES IN FOOTBALL: INFLUENCE OF TRACKING TECHNOLOGY	86
3.5. ARTÍCULO 5: SPATIAL PERCEPTION OF SEMI-PROFESSIONAL SOCCER PLAYERS IN SMALL-SIDED GAMES: A CASE STUDY	88
4. DISCUSIÓN	91
5. CONCLUSIONES	109
6. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	121
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127
8. GLOSARIO DE TÉRMINOS	199
9. ARTÍCULOS COMPLETOS	205

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PRINCIPALES VENTAJAS DE LOS DISPOSITIVOS <i>GNSS</i>	20
TABLA 2. PRINCIPALES INCONVENIENTES DE LOS DISPOSITIVOS <i>GNSS</i>	20
TABLA 3. PRINCIPALES VENTAJAS DE LOS DISPOSITIVOS <i>LPS</i>	24
TABLA 4. PRINCIPALES DESVENTAJAS DE LOS DISPOSITIVOS <i>LPS</i>	24
TABLA 5. SISTEMAS DE SEGUIMIENTO DE ATLETAS BASADOS EN TECNOLOGÍA <i>LPS</i>	25
TABLA 6. PRINCIPALES VENTAJAS DE LOS DISPOSITIVOS <i>VT</i>	29
TABLA 7. PRINCIPALES INCONVENIENTES DE LOS DISPOSITIVOS <i>VT</i>	29
TABLA 8. SISTEMAS EPTS QUE HAN OBTENIDO EL CERTIFICADO <i>IMS</i> OTORGADO POR <i>FIFA</i>	41
TABLA 9. SISTEMAS CERTIFICADOS CON EL SELLO <i>FIFA QUALITY</i>	42

TABLA 10. PRINCIPALES VARIABLES PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA EXTERNA A PARTIR DEL POSICIONAMIENTO DEL JUGADOR	51
TABLA 11. PRINCIPALES VARIABLES PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA TÁCTICA A PARTIR DEL POSICIONAMIENTO DEL JUGADOR	56
TABLA 12. PRINCIPALES VARIABLES PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA EXTERNA A PARTIR DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA DE LOS SENSORES INERCIALES	60
TABLA 13. PRINCIPALES VARIABLES PROVENIENTES DEL DOMINIO TEMPORAL	63
TABLA 14. PRINCIPALES VARIABLES NO LINEALES	63
TABLA 15. PRINCIPALES VARIABLES DEL DOMINIO FRECUENCIAL	64
TABLA 16. ESCALA DE PSE, DE 0 A 10 PUNTOS	66
TABLA 17. ESCALA DE PSE, DE 6 A 20 PUNTOS	67

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PROCESO DE INTERVENCIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO EN FÚTBOL	13
FIGURA 2. INFORMACIÓN EN TIEMPO REAL DE LA VARIABLE VELOCIDAD EN KM/H	15
FIGURA 3. RAW DATA DE LA LATITUD DEL SENSOR GNSS	15
FIGURA 4. RAW DATA DE LA LONGITUD DEL SENSOR GNSS	16
FIGURA 5. RAW DATA DE LA ALTITUD DEL SENSOR GNSS	16
FIGURA 6. RAW DATA DEL NÚMERO DE SATÉLITES DEL SENSOR GNSS	16
FIGURA 7. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE SEGUIMIENTO GNSS	19
FIGURA 8. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS LPS	23

FIGURA 9. SEÑAL DE VELOCIDAD REGISTRADA SIMULTÁNEAMENTE A PARTIR DE LA TECNOLOGÍA <i>GNSS</i> Y <i>LPS</i>	25
FIGURA 10. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE <i>VT</i>	26
FIGURA 11. SEÑAL DE VELOCIDAD PROVENIENTE DE <i>GNSS</i> Y <i>VT</i>	28
FIGURA 12. ESQUEMA DEL ACELERÓMETRO <i>MEMS</i>	32
FIGURA 13. COMPORTAMIENTO DEL SENSOR <i>MEMS</i> CON ACELERACIÓN	33
FIGURA 14. SEÑAL DEL ACELERÓMETRO DEL EJE X	33
FIGURA 15. SEÑAL DEL ACELERÓMETRO DEL EJE Y	33
FIGURA 16. SEÑAL DEL ACELERÓMETRO DEL EJE Z	34
FIGURA 17. SEÑAL DEL ACELERÓMETRO RESULTANTE	34
FIGURA 18. ESQUEMA DEL GIROSCOPIO <i>MEMS</i>	35
FIGURA 19. SEÑAL DEL GIROSCOPIO DE LOS TRES EJES DE MOVIMIENTO (X, Y, Z)	36
FIGURA 20. SEÑAL DEL MAGNETÓMETRO EN LOS TRES EJES (X, Y, Z)	37
FIGURA 21. SEÑAL DE LA TEMPERATURA DEL BARÓMETRO EN °C	38
FIGURA 22. SEÑAL DE LA ALTITUD DEL BARÓMETRO EN METROS	38
FIGURA 23. EVOLUCIÓN DE LAS REGLAS DE JUEGO EN CUANTO AL USO DE <i>EPTS</i>	40
FIGURA 24. <i>INTERNATIONAL MATCH STANDARD</i>	40
FIGURA 25. SELLO DE CERTIFICACIÓN <i>FIFA QUALITY</i>	42

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 26. DEPTH MAP	54
FIGURA 27. ÁREA OCUPADA POR EL EQUIPO	55
FIGURA 28. MAPA DE VORONOI	55
FIGURA 29. REPRESENTACIÓN DEL MAPA DE CALOR	56
FIGURA 30. ESQUEMA DE LOS OBJETIVOS DE LA PRESENTE TESIS POR COMPENDIO DE PUBLICACIONES	72

INTRODUCCIÓN

1



1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos cuatro años, he tenido la ocasión de trabajar como preparador físico en equipos semiprofesionales de fútbol. Durante este tiempo me han surgido dudas y preguntas sobre la preparación física en fútbol, despertando en mí un interés sobre cómo mejorar mis destrezas como profesional.

En los deportes colectivos la adaptación al entrenamiento se produce a través de la propia actividad competitiva (Tschiene, 1996). Por este motivo, el entrenamiento se debe abordar desde el propio análisis de la competición, teniendo en cuenta la magnitud y cantidad de los esfuerzos y acciones que más prevalecen, para tenerlos de referencia y a partir de ellos abordar las sesiones de entrenamiento (Mombaerts, 1998).

El éxito en la competición depende en parte del rendimiento físico de los futbolistas (Reche-Soto et al., 2019b). Existe una gran variedad de estudios para evaluar dicho rendimiento, pero actualmente se necesitan métodos de cuantificación

más concretos para valorar sus capacidades físicas (Juárez-Toledo et al., 2018). No obstante, debido a que el fútbol es un deporte de equipo de rendimiento multifactorial, donde no solo intervienen las capacidad físicas, sino también las habilidades técnico-tácticas, resulta necesario conocer las manifestaciones físico-fisiológicas y las exigencias técnico-tácticas (Gómez-Díaz et al., 2013).

Según Buchheit & Simpson (2017), los tres objetivos esenciales de la monitorización de los deportistas son: i) ayudar a la mejora de la comprensión y evaluación objetiva de la carga externa de trabajo, es decir, de las demandas de las actividades o sesiones de entrenamiento propuestas al jugador, ii) orientar la programación del entrenamiento y la competición y iii) ayudar en la toma de decisiones para programar entrenamientos individualizados orientados a la mejora del rendimiento y la prevención de lesiones.

El desarrollo tecnológico en la última década ha permitido que el análisis de los desplazamientos realizados por los jugadores sea uno de los componentes más importantes de la monitorización de la carga en los deportes de equipo profesionales (Akenhead & Nassis, 2016). Estos avances tecnológicos han propiciado una intervención de manera específica en el entrenamiento y la evaluación del rendimiento durante las competiciones (Barros et al., 2007). Esta monitorización consiste en cuantificar los patrones de movimiento realizados por los deportistas, proporcionando velocidades, duraciones y distancias de las categorías de desplazamiento seleccionadas previamente (Dobson & Keogh, 2007).

1. INTRODUCCIÓN



Figura 1. Proceso de intervención para la optimización del rendimiento en fútbol.

Los métodos para la obtención de los datos han variado a lo largo del tiempo. Inicialmente, los primeros datos se registraron utilizando técnicas observacionales. La aparición de las cámaras y dispositivos de seguimiento permitió realizar un análisis post-partido (Castells et al., 2015). A pesar de que los sistemas de registro manual han demostrado ser prácticos y accesibles, su validez y fiabilidad se ha visto cuestionada ya que dependen del número y experiencia acumulada de los observadores utilizados o de la perspectiva de observación (Barris & Button, 2008; De la Vega et al., 2008), necesitándose también mucho tiempo para recoger y analizar los datos (Valter et al., 2006). A todo esto hay que sumar que los métodos tradicionales de análisis del movimiento se han caracterizado por ser muy laboriosos, por lo que su uso ha quedado restringido a proyectos de investigación desarrollados en la universidad (Carling et al., 2008).

La Federación Internacional de Fútbol Asociado (*FIFA*) introduce el término Dispositivo de Seguimiento Electrónico del Rendimiento (DSER; en inglés, *Electronic Performance & Tracking Systems, EPTS*) refiriéndose a “una tecnología que permite hacer un seguimiento de jugadores y equipos con el fin

de mejorar su actuación en el terreno de juego. Estos sistemas primordialmente hacen un seguimiento de las posiciones de los jugadores, y del balón, aunque también pueden utilizarse junto con instrumentos microelectromecánicos (acelerómetros, giróscopos, etc.) además de otros dispositivos que miden parámetros fisiológicos”. Estos sistemas se engloban en tres grupos de tecnologías (Bastida-Castillo et al., 2018). Por un lado, los sistemas semiautomáticos que han sido diseñados a partir del análisis de video (*Video Tracking*, en adelante *VT*), compuestos por un conjunto de cámaras computarizadas en el que no es necesario equipar al jugador con ningún instrumento (Castellano et al., 2014a; Sarmiento et al., 2014; Valter et al., 2006). Por otro lado, encontramos el Sistema Global de Navegación por Satélite (*Global Navigation Satellite System*, *GNSS*, en adelante), conocido popularmente como *Global Positioning System* (*GPS*, en adelante), en los que el deportista debe llevar un dispositivo que recibe una señal del satélite para ser localizado (Aughey, 2011a; Cummins et al., 2013). Por último, los Sistemas de Posicionamiento Local (*Local Positioning System*, *LPS*, en adelante) (Frencken et al., 2011; Ogris et al., 2012; Stevens et al., 2014) como la tecnología *Ultra Wide Band* (*UWB*, en adelante). Esta tecnología utiliza el mismo principio que los sistemas *GNSS*, utilizando un sistema de antenas colocado alrededor del espacio de medición como sistema de referencia. Las antenas sustituyen a los “satélites” y les permite posicionar a los jugadores dentro de un espacio de referencia, optimizando los protocolos de comunicación de señal y estableciendo sus propias redes de referencia.

Además, destacar que estos sistemas *EPTS* permiten el análisis en tiempo real, con lo que todos los componentes del staff técnico (entrenadores, preparadores físicos, médicos, etc.) pueden disponer de información muy válida, obtener un feedback inmediato de lo que está ocurriendo en el terreno de juego y tomar rápidas decisiones basadas en métricas que van observando (Nicoletta et al., 2018).

1. INTRODUCCIÓN



Figura 2. Información en tiempo real de la variable velocidad en km/h.
(Extraído de SVivo, RealTrack Systems S.L.).

Otra posibilidad que ofrecen los dispositivos *EPTS* es el análisis de los datos en crudo (*raw data*) de las señales de los sensores de los dispositivos *GNSS* y *LPS*. Cuando se habla de datos “en crudo de las señales”, hacemos referencia a todo el volumen de datos sin tratar, que provienen de los diferentes sensores que disponen los dispositivos: sensores de posicionamiento (*GNSS/GPS*, *LPS*), acelerómetros, giroscopios, magnetómetros, barómetros, etc., permitiendo a los técnicos realizar un análisis ajustado a sus necesidades. A continuación, se muestra el *raw data* del sensor *GNSS*.

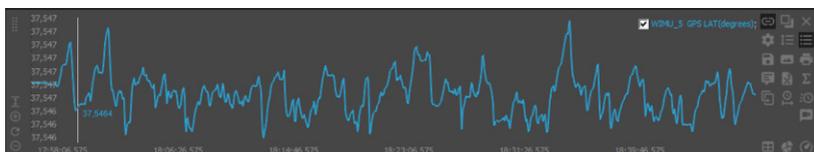


Figura 3. *Raw data* de la latitud del sensor *GNSS*.
(Extraído de SPro, RealTrack Systems S.L.).

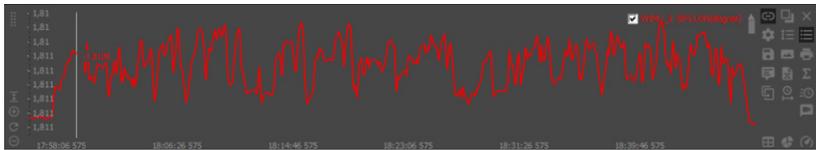


Figura 4. Raw data de la longitud del sensor GNSS.
(Extraído de SPro, RealTrack Systems S.L.).

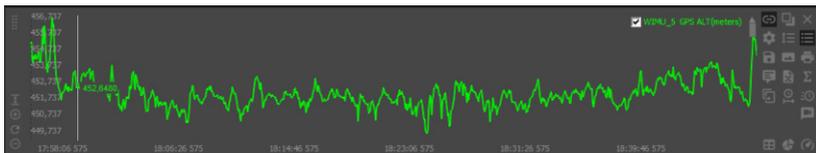


Figura 5. Raw data de la altitud del sensor GNSS.
(Extraído de SPro, RealTrack Systems S.L.).

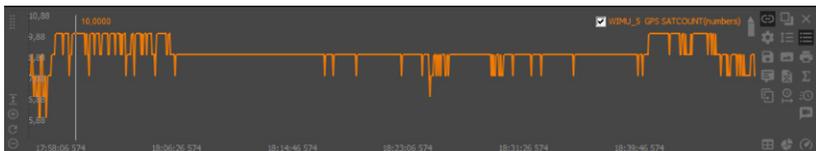


Figura 6. Raw data del número de satélites del sensor GNSS.
(Extraído de SPro, RealTrack Systems S.L.).

La mayoría de dispositivos *EPTS* (excepto *VT*) no solamente disponen de sensores de *tracking* (*GNSS* o *LPS*), sino que también disponen de unos sensores inerciales que miden el movimiento, la aceleración o la velocidad angular de los jugadores mediante la utilización de acelerómetros y/o giroscopios, ofreciendo de esta manera, entre muchas otras, variables de rendimiento como la detección de saltos e impactos. La aplicación práctica de este tipo de sensores inerciales emergió sobre los años 20, principalmente en aplicaciones como la navegación aérea y espacial. En esos años, el principal problema que presentaban estos dispositivos era su tamaño, peso y consumo que eran relativamente grandes. Por estos motivos era complicado utilizarlos en otro

1. INTRODUCCIÓN

tipo de aplicaciones donde un menor tamaño y peso fuese necesario. No fue hasta la década de los 80, cuando se presentó el primer sensor inercial desarrollado mediante la tecnología microelectromecánica o también llamada MEMS (Akenhead et al., 2016). Esta tecnología, además de tener un coste menor a otro tipo de tecnología de fabricación de sensores, permite la creación de diminutos dispositivos, donde los componentes que lo forman tienen tamaños que van desde uno hasta cien micrómetros.

Finalmente, a la hora de utilizar los dispositivos *EPTS*, un parámetro importante a tener en cuenta a la hora de medir el posicionamiento espacial de los jugadores en fútbol y en los deportes de equipo, es la frecuencia de muestreo de los dispositivos, que se mide en Hercios (Hz, en adelante) (Rico-González et al., 2019). La frecuencia, es decir, la cantidad de datos por segundo, no depende del propio dispositivo *EPTS*, sino de cada sensor que estos dispositivos incorporan. Así por ejemplo podemos encontrar *EPTS* cuyos sensores inerciales pueden llegar a registrar a una frecuencia de 1.000 Hz, el sensor *GNSS* a 10 Hz y el sensor de *LPS* a 20 Hz, por lo que en función de la compañía encargada de la fabricación del dispositivo encontraremos diferentes frecuencias de muestreo. Una mayor frecuencia de muestreo supone una mayor cantidad de datos por unidad de tiempo, pero no necesariamente supondrán mejores resultados, ya que a una frecuencia más alta el ruido sigue siendo un problema considerable (Winter, 2009), aunque respecto a las variables tácticas este aspecto apenas ha sido estudiado (Rico-González et al., 2019).

1.1.DISPOSITIVOS DE SEGUIMIENTO ELECTRÓNICO DEL RENDIMIENTO

1.1.1. TECNOLOGÍA DE REGISTRO BASADA EN SISTEMAS DE NAVEGACIÓN GLOBAL POR SATÉLITE

Inicialmente, los sistemas *GNSS* se utilizaron con fines militares o científicos, sin embargo, su desarrollo ha dado lugar a aplicaciones más amplias, como por ejemplo, su uso en deportes de equipo para cuantificar la carga externa de entrenamiento (Beato et al., 2018; Cummins et al., 2013; Scott et al., 2015) y durante dos décadas, para evaluar el comportamiento táctico durante el entrenamiento y la competición (Araújo & Davids, 2016; Clemente et al., 2016; Folgado et al., 2015; Memmert et al., 2017; Reche-Soto et al., 2019a).

Actualmente, el sistema *GNSS* es el dispositivo *EPTS* más usado en el mundo del análisis del rendimiento deportivo. Se entiende por *GNSS* al conjunto de sistemas de navegación por satélite (Aughey, 2011). A día de hoy existen 6 constelaciones y cada constelación tiene un determinado número de satélites (*Galileo* en Europa, con 24 satélites en órbita; *GLONASS* en Rusia, con 29 satélites en órbita; *GPS* en Estados Unidos, con 31 satélites en órbita; *Beidou* en China, con 24 satélites en órbita; *NAVIC* en India, con 4 satélites en órbita y *QZSS* en Japón, con 3 satélites en órbita). Sin embargo, es necesario un mínimo de 24 satélites para que puedan ser utilizados de manera fiable (Cummins et al., 2013). Cabe destacar que aunque popularmente se conocen a estos sistemas como *GPS*, estas siglas hacen referencia a *Global Positioning Systems*, constelación de satélites de los Estados Unidos de América. Siendo el término correcto para referirnos a estos dispositivos el de *GNSS*.

1. INTRODUCCIÓN

Para poder conseguir el posicionamiento de un receptor (en nuestro caso, un jugador), es necesario al menos la detección de 4 satélites, con lo que mediante la técnica de trilateración 3D se determina la longitud (x), la latitud (y), la altitud (z) y el tiempo (t) (Cummins et al., 2013). Con el uso de 3 satélites solamente, se determinará el posicionamiento en 2D, sin poder hallar la altitud a la que se encuentra el receptor (Cummins et al., 2013; Jackson et al., 2018; Malone et al., 2017). A continuación en la figura 7 se muestra el funcionamiento del sistema GNSS.

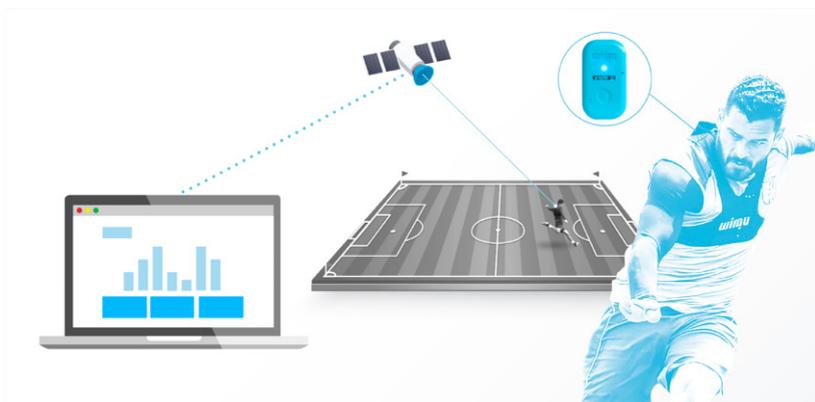


Figura 7. Representación gráfica del funcionamiento de los sistemas de seguimiento GNSS.

En la tabla 1, se muestran las principales ventajas de los sistemas GNSS con respecto a otros sistemas, son:

Tabla 1. Principales ventajas de los dispositivos GNSS
(Bastida, 2019).

No es necesaria ninguna instalación adicional, como pueden ser cámaras o antenas.

Dada su sencillez, una persona es suficiente para ser responsable de que todos los dispositivos estén funcionando correctamente.

Su uso es rápido y sencillo, ya que solo es necesario colocar en el deportista un dispositivo y desde ese momento, la toma de datos ya ha comenzado.

Proporciona numerosas variables para el análisis del rendimiento, uniendo variables de posicionamiento y de otro tipo de sensores, como los inerciales o los de frecuencia cardiaca.

En cambio, la tecnología GNSS también presenta los siguientes inconvenientes (tabla 2):

Tabla 2. Principales inconvenientes de los dispositivos GNSS
(Bastida, 2019).

No funcionan en instalaciones cerradas, con lo que solo podremos monitorizar a los jugadores en espacios abiertos.

La calidad de la señal puede verse afectada por el clima o por cubiertas que puedan haber en los estadios. En estos casos, al no tener buena señal, puede ser que la precisión y la fiabilidad de los datos no sea la mejor.

Se trata de una tecnología algo invasiva para el jugador, ya que es necesario colocarle un dispositivo al jugador para poder obtener los datos.

Solo permite la monitorización del deportista, no del balón.

Los deportes de equipo requieren que los jugadores compitan en diferentes posiciones que tienen demandas específicas de actividad técnica, táctica y física (Ward et al., 2018). De hecho, con el uso de GNSS, estudios recientes han descrito diferentes perfiles de actividad específica para cada posición en una variedad de deportes de equipo (Austin & Kelly, 2013; Boyd et al., 2013; Cummins et al., 2013; Cunniffe et al., 2009; Reche-Soto et al., 2019b; Suarez-Arrones et al., 2012). En concreto los dispositivos GNSS han sido utilizados en deportes de equipo como fútbol (Casamichana et al., 2013;

1. INTRODUCCIÓN

Castagna et al., 2009; Hill-Haas et al., 2009; Reche-Soto et al., 2019a; Sánchez-Sánchez et al., 2014), rugby (Austin & Kelly, 2013; Cunniffe et al., 2009; Hartwig et al., 2011; McLellan & Lovell, 2012), fútbol australiano (Aughey, 2011b; Wisbey et al., 2010), hockey (Jennings et al., 2012; Macutkiewicz & Sunderland, 2011), *netball* (Higgins et al., 2009), y *lacrosse* (Duffield et al., 2009), pero también en deportes individuales como tenis (Ahmadi et al., 2009), ciclismo (Bonomi et al., 2009) y salto de esquí (Chardonens et al., 2013).

Estos estudios se han utilizado para obtener más información sobre los requisitos específicos del deporte y se pueden utilizar para ayudar en el diseño de sesiones de entrenamiento (Torres-Ronda et al., 2016). De hecho, numerosos grupos de investigación (Aguiar et al., 2012; Bujalance-Moreno et al., 2018; Hill-Haas et al., 2011) han evaluado las demandas de diferentes tareas de entrenamiento, conocidas como Juegos Reducidos (JR, en adelante). Los JR son utilizados con el fin de desarrollar la condición física (Hill-Haas et al., 2011), habilidades técnico-tácticas (Jones & Drust, 2007), y/o objetivos tácticos, estratégicos o psicológicos de forma integrada (Flanagan & Merrick, 2002; Gabbett et al., 2008) en diferentes deportes colectivos (Hill-Haas et al., 2011).

La confiabilidad y validez de estas unidades han sido previamente establecidas (Akubat et al., 2014; Coutts & Duffield, 2010; Gray & Jenkins, 2010; MacLeod et al., 2009; Pino-Ortega et al., 2018), siendo su uso cada vez más frecuente (Rogalski et al., 2013). Aunque es necesario mencionar los diferentes factores que pueden influir en el uso de los dispositivos GNSS. (1) Dilución de Precisión para el Posicionamiento Horizontal (*Horizontal Dilution of Precision, HDOP*, en adelante); el cual describe la distribución de los satélites conectados con cada dispositivo (Rico-González et al., 2019). En el trabajo realizado por Jackson et al., (2018) se sugiere que el número de constelaciones utilizadas, y por tanto el número de satélites

en órbita, podrían influir en el *HDOP*. (2) La infraestructura que se encuentra alrededor del terreno de juego. (3) El número de satélites conectados con cada dispositivo. (4) La frecuencia de muestreo del sensor y por último (5) las condiciones meteorológicas (Cummins et al., 2013).

1.1.2. TECNOLOGÍA DE REGISTRO BASADA EN SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO LOCAL

Los sistemas basados en el posicionamiento local aparecen principalmente para solucionar algunos de los problemas de la tecnología *GNSS*. Al igual que los basados en *VT*, son sistemas de posicionamiento en interior aunque su uso también es frecuente en exteriores (Frencken et al., 2011). La principal diferencia que hay con la tecnología *GNSS* es que, en lugar de usar un sistema de satélites, los dispositivos *LPS* requieren una instalación de una serie de antenas que permiten conocer la información de la posición de los jugadores en el campo.

Este tipo de tecnología calcula el posicionamiento de los jugadores a través de diferentes algoritmos: (1) tiempo de vuelo (TOF, *time-of-flight*); (2) tiempo de diferencia de llegada (TDOA, *time difference of arrival*); (3) ángulo de llegada (AOA, *angle of arrival*); (4) diferencia de frecuencia de llegada o *Doppler differential* (FDOA, *frequency difference of arrival or differential Doppler*); y (5) algoritmos híbridos (Alarifi et al., 2016; Leser et al., 2011). Cabe mencionar que al igual que la tecnología *GNSS*, los jugadores portan un dispositivo en un chaleco diseñado especialmente para ello.

A diferencia de los sistemas *GNSS*, en los que la distancia y la velocidad pueden ser obtenidas de dos formas diferentes (diferenciación posicional y efecto Doppler), el sistema *LPS*

1. INTRODUCCIÓN

solamente utilizada el primer método, diferenciación posicional. Estos sistemas calculan la distancia mediante los cambios de coordenadas x , y . Mientras que para calcular la aceleración se hace la derivada de la velocidad con respecto al tiempo (Hoppe et al., 2018).

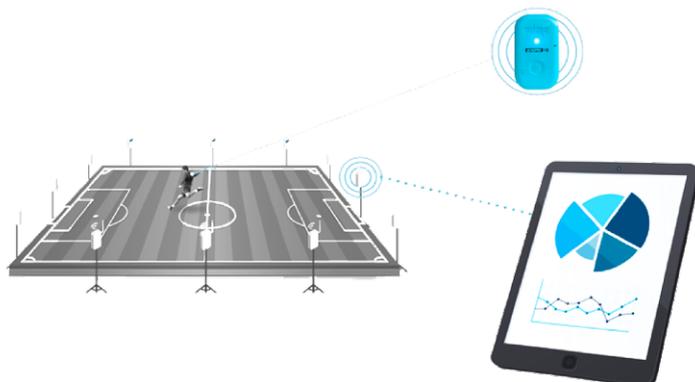


Figura 8. Representación gráfica del funcionamiento de los sistemas *LPS*.

Para el uso de este tipo de tecnología debe de tenerse en cuenta que a pesar de que es menos susceptible a las interferencias comparado con el resto de tecnologías, es especialmente sensible a interferencias derivadas de estructuras metálicas (Alarifi et al., 2016). Existen factores como la frecuencia de muestreo y el uso simultáneo de varios dispositivos (Alarifi et al., 2016; Leser et al., 2011) que limitan el uso de los *LPS* basados en la radio frecuencia *UWB*. De igual modo la altura de las antenas influye en el margen de error (Martinelli et al., 2019).

Es importante destacar, que aunque los campos de fútbol tienen forma rectangular, una circunferencia es la posición ideal de registro, y a medida que esta circunferencia se deforma la posibilidad de error aumenta. A pesar de la mayor precisión de los sistemas *LPS* en comparación con el resto de tecnologías (*GNSS*, *VT*) (Alarifi et al., 2016; Leser et al., 2011)

y su prometedor futuro, hasta la fecha, su uso ha sido menos popular (Rico-González et al., 2019).

En la tabla 3 se muestran las principales ventajas que ofrecen los sistemas *LPS*, son los siguientes:

Tabla 3. Principales ventajas de los dispositivos *LPS*

(Bastida, 2019).

Permite la monitorización del rendimiento en instalaciones indoor (pabellones) o en estadios con cobertura limitada para la tecnología *GNSS*.

Al igual que la tecnología *GNSS*, proporcionan numerosas variables para el análisis del rendimiento, ya que podemos unir variables de posicionamiento (distancias, velocidades y aceleraciones), variables obtenidas de los sensores inerciales (saltos, impactos, etc.) y variables extraídas de otros sensores como la frecuencia cardíaca.

Por el contrario, nos encontramos con una serie de desventajas como (tabla 4):

Tabla 4. Principales desventajas de los dispositivos *LPS*

(Bastida, 2019).

Se requiere de una instalación fija o portátil de un sistema de antenas alrededor del campo para poder obtener datos.

Se trata de una tecnología algo invasiva para el jugador, ya que es necesario colocarle un dispositivo al jugador para poder obtener los datos.

No permite la monitorización del balón.

Actualmente ya existen en el mercado *EPTS* que permiten trabajar con las tecnologías *GNSS* y *LPS* en el mismo dispositivo, con lo que es posible la toma de datos mediante las dos tecnologías indistintamente (siempre que se tenga el sistema de antenas *LPS*).

En la literatura podemos encontrar la evaluación de la precisión y fiabilidad de sistemas *LPS* para el análisis de las demandas requeridas en fútbol comparando el sistema *LPS* con *GNSS* (Bastida Castillo et al., 2018; Bastida-Castillo et al.,

1. INTRODUCCIÓN

2019; Frencken et al., 2010) y comparando el sistema *LPS* con *VT* (Hodder et al., 2020). Este tipo de sistemas presenta una serie de ventajas con respecto a la tecnología *GNSS*: (i) mayor frecuencia de muestreo (Linke et al., 2018), (ii) permite su uso en interior y en grandes estadios (Bastida-Castillo et al., 2019) y (iii) mayor precisión a la hora de determinar la posición del jugador (Hoppe et al., 2018).



Figura 9. Señal de velocidad registrada simultáneamente a partir de la tecnología *GNSS* y *LPS*. (Extraído de SPro, RealTrack Systems S.L.).

A continuación, en la tabla 5 se recogen las principales compañías que desarrollan sistemas de *LPS* orientados al rendimiento deportivo:

Tabla 5. Sistemas de seguimiento de atletas basados en tecnología *LPS*.

Compañía	Dispositivo
Kinexon	-
RealTrack Systems S.L.	WIMU PRO
Catapult	Vector

1.1.3. TECNOLOGÍA DE REGISTRO BASADA EN *VIDEO TRACKING*

Los sistemas *VT* cuantifican la carga externa basándose en múltiples cámaras de alta definición que siguen a los jugadores y que están colocadas alrededor del campo de fútbol durante competiciones oficiales (Barris & Button, 2008; Buchheit et al., 2014; Carling et al., 2008). Este sistema permite a los investigadores acceder a la trayectoria realizada por estos, permitiendo estudiar los movimientos de jugadores individualmente y las interacciones de los jugadores entre sí (Bartlett et al., 2012).

Una limitación que tienen estos sistemas es que la información obtenida a partir de ellos, es decir, las variables e índices que obtenemos para controlar la carga externa provienen únicamente del posicionamiento del jugador (Beato et al., 2018), obteniendo valores de distancia, velocidad y espacio, dado que el movimiento del atleta se recoge en un plano bidimensional (Beato et al., 2018), con cambios en la posición, debido a que el movimiento vertical no se detecta (Barris & Button, 2008). No se pueden obtener datos de impactos, aterrizajes y saltos. Así mismo, estos sistemas pueden detectar la posición de múltiples jugadores de deportes de equipo al mismo tiempo, incluso el árbitro y el balón (Christopher et al., 2016).

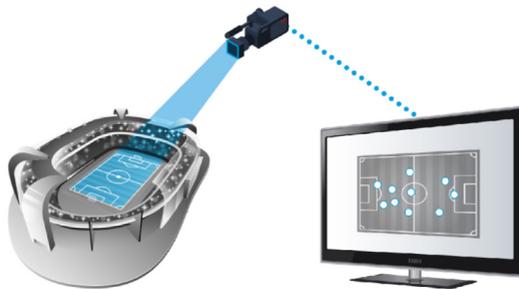


Figura 10. Representación gráfica del funcionamiento de los sistemas de *VT*.

1. INTRODUCCIÓN

Para el funcionamiento de este tipo de tecnología es necesario establecer un sistema de referencia. En este sentido, el estadio y el terreno de juego deben de ser definidos en términos de longitud y anchura y transformados a un modelo bidimensional para poder calcular la posición de los deportistas (coordenadas X e Y) (Carling et al., 2008). Aunque estos sistemas son en gran medida automáticos, requieren la introducción de datos de forma manual y un técnico debe controlar continuamente si los jugadores están siendo correctamente monitorizados por el programa informático e introducir las coordenadas manualmente cuando el sistema no haya sido capaz de procesarlas por sí solo (Beato et al., 2018).

Los sistemas de seguimiento semiautomáticos fueron diseñados para eliminar la clasificación laboriosa y subjetiva que conllevaba la cuantificación de la actividad del atleta (Castellano et al., 2014b), aumentando significativamente la precisión y fiabilidad del rendimiento en los procedimientos de análisis y etiquetado técnico en comparación con el análisis de notación tradicional (Barris & Button, 2008).

En los últimos años, numerosos trabajos han analizado la carga de la competición a través de *VT* (Castellano et al., 2014b; Vieira et al., 2019). Sin embargo, el principal problema es la validez de estos sistemas. Por esta razón, algunos investigadores sugieren que es necesario realizar estudios de validez y comparar el grado de correlación de estos sistemas con otros sistemas de tracking como el *GNSS* (Buchheit et al., 2014; Linke et al., 2018). En este sentido, la tecnología *GNSS* ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años en su uso para la cuantificación y control de la carga de entrenamiento y competición en fútbol (Pons et al., 2019). Algunas investigaciones han comparado las dos tecnologías en situaciones de entrenamiento o test específicos (Cust et al., 2019; Linke et al., 2018; Valter et al., 2006). En concreto, estos estudios muestran que los sistemas de *VT* tienden a registrar de

leve-moderada (Harley et al., 2011) y moderada-alta (Sanders et al., 2017) mayores distancias cubiertas a medida que la velocidad es mayor, en comparación con la tecnología GNSS (Buchheit et al., 2014). En esta misma línea, el sistema de VT ha sido también comparado con un sistema GNSS en situación real de juego (Pons et al., 2019). Mostrando resultados muy similares en distancia total y distancia recorrida a diferentes velocidades con los resultados obtenidos en investigaciones previas (Buchheit et al., 2014).

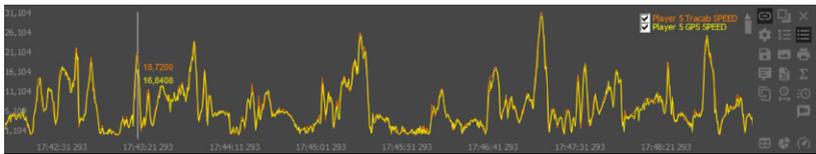


Figura 11. Señal de velocidad proveniente de GNSS y VT.
(Extraído de SPro, RealTrack Systems S.L.).

Una posible explicación de algunos hallazgos ambiguos puede atribuirse a la intervención humana (Beato et al., 2018). En los sistemas VT, parte del análisis está hecho por operadores que realizan correcciones manuales. Es conocido que estos operadores se enfrentan a muchas dificultades al rastrear a varios jugadores en un espacio congestionado, reduciendo inevitablemente la calidad del sistema (Barris & Button, 2008; Barros et al., 2007).

A pesar de las ventajas de los VT con otros sistemas, por ejemplo, no es invasivo, todavía sufren varias deficiencias (Castellano et al., 2014b). El coste es elevado y el montaje muy laborioso y no es portátil, la zona de captura variable, las condiciones de iluminación, oclusión de jugadores y necesidad de múltiples cámaras y personal cualificado para el registro. En la tabla 6 se muestra las ventajas que nos ofrecen este tipo de sistemas:

1. INTRODUCCIÓN

Tabla 6. Principales ventajas de los dispositivos VT
(Bastida, 2019).

La adaptabilidad a cualquier situación, ya que gracias a las imágenes obtenidas por las cámaras se obtiene la posición de cualquier marca y se almacena junto al tiempo en que se ha tomado la muestra, de manera que resulta sencillo hacer reconstrucciones con esos datos.

Es un sistema no invasivo, ya que no es necesario que el deportista deba colocarse ningún dispositivo.

Permite la monitorización del rendimiento en espacios cerrados como pabellones o estadios con estructuras, quedando limitados con la tecnología GNSS.

Permite la monitorización del balón.

Permite la sincronización de los datos de rendimiento con el video.

En cambio, los inconvenientes que presenta esta tecnología son (tabla 7):

Tabla 7. Principales inconvenientes de los dispositivos VT
(Bastida, 2019).

El número de cámaras a instalar para que no existan puntos muertos y evitar así que no haya algunas localizaciones que estén ausentes de seguimiento.

Solo proporcionan variables de posicionamiento y derivadas del desplazamiento espacial, por lo que no es posible analizar otros parámetros de carga como impactos y saltos que se obtienen a partir de sensores inerciales.

No pueden obtenerse datos más allá de lo que ocurre fuera del área de instalación del sistema, por ejemplo, en el gimnasio o en otro terreno de juego anexo donde entrene el equipo.

El tiempo de instalación del sistema de cámaras es largo y tiene un coste económicamente alto.

Estos sistemas han sido utilizados para describir las demandas de las principales competiciones como la Premier League (Inglaterra), Il Calcio (Italia) (Vigne et al., 2010), La Liga (España) (Dellal et al., 2011), Ligue 1 (Francia) y Champions League o Europa League (Yi et al., 2020).

1.2. SENSORES INERCIALES

Los dispositivos portátiles especialmente diseñados para medir las métricas de rendimiento se han vuelto omnipresentes en el mundo del rendimiento deportivo (Nicoletta et al., 2018). Estos dispositivos están dirigidos para su uso por parte de científicos del deporte, entrenadores, preparadores físicos y atletas como medio por el cual el entrenamiento debe de ser cuantificado y dirigido hacia las ganancias de rendimiento y reduciendo el riesgo de lesión (Halson, 2014; Malone et al., 2017).

Como hemos visto anteriormente, durante más de una década, los dispositivos de seguimiento basados en el sistema GNSS se han utilizado ampliamente para la monitorización del entrenamiento al aire libre, permitiendo una mejor comprensión de los requisitos físicos del deporte (Cummins et al., 2013). Otro enfoque que ha ganado aceptación dentro del área, es el uso de dispositivos basados en el concepto de Unidad de Medición Inercial, también llamada *Inertial Measurement Unit (IMU*, en adelante) o *Inertial Magnetic Measurement Units (IMMUS*, en adelante) (Reenalda et al., 2016). Se trata de un dispositivo electrónico generalmente compuesto por acelerómetros, giroscopios y magnetómetros de sistemas *MEMS*, con los que se pueden obtener medidas de velocidad angular, rotación y fuerzas gravitacionales (Ahmad et al., 2013; Van Hees et al., 2009). La historia de los dispositivos *IMU* comenzó en 1930, cuando se utilizó en navegación de aeronaves (Zhao & Wang, 2012) pero la disminución en el tamaño y en el coste de los sensores inerciales ha permitido que estos tengan muchas aplicaciones en diferentes sectores (ingeniería, deporte, navegación, etc.) (Thompson et al., 2018).

Con el fin de cuantificar los patrones de movimiento, en particular la marcha y la carrera, los sensores *IMU* se

1. INTRODUCCIÓN

han utilizado para definir parámetros espacio-temporales y cinemáticos (Aminian & Najafi, 2004; Favre et al., 2008; Findlow et al., 2008; O'Donovan et al., 2007).

A nivel específico, los sensores inerciales se han utilizado para analizar el movimiento (Reenalda et al., 2016). Ciertas revisiones sobre la materia recogen que los *IMU* muestran niveles aceptables de precisión y confiabilidad, que tienen la capacidad de soportar la evaluación del desempeño físico y que tienen un gran potencial para detectar los patrones específicos del movimiento y son capaces de cuantificar las demandas deportivas que otras tecnologías no pueden detectar. (Chambers et al., 2015; Dellaserra et al., 2014). También se puede concluir que los dispositivos *IMU*, en contraste con dispositivos de sensores individuales, pueden ser una herramienta para comprender movimientos específicos con mayor detalle y proporcionar retroalimentación sobre las técnicas correctas e incorrectas (Reenalda et al., 2016).

1.2.1. ACELERÓMETRO

Un acelerómetro es un dispositivo electromecánico capaz de medir fuerzas de aceleración, tanto estáticas (por ejemplo, la gravedad) como dinámicas (por ejemplo, vibración) (Miguelés et al., 2017). Existen varios tipos de tecnologías (piezo-eléctrico, piezo-resistivo, galgas extensométricas, láser, térmico, etc.,) y diseños que aunque todos tienen el mismo fin pueden ser muy distintos unos de otros según la aplicación a la cual van destinados y las condiciones en las que han de trabajar.

Los acelerómetros que componen los dispositivos inerciales, se generan a partir de la tecnología microelectromecánica o *MEMS*. Están compuestos por celdas capacitivas, formadas por placas fijas y placas móviles unidas

a una masa, proporcionando la señal detectando cambios en la capacitancia o capacidad eléctrica (Culhane et al., 2005). Existen tres categorías principales de acelerómetros *MEMS*: el capacitivo de silicio, el piezorresistivo y, finalmente, los acelerómetros térmicos, siendo los acelerómetros capacitivos de silicio los más populares.

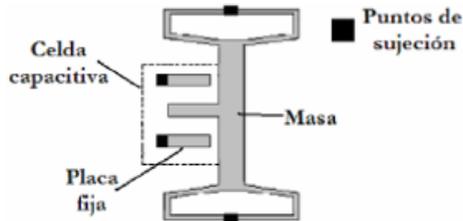


Figura 12. Esquema del acelerómetro *MEMS* (Fuente: López, 2015).

Cuando el acelerómetro sufre una aceleración la masa se mueve y este movimiento modifica el valor de la capacitancia, de tal manera, que se obtiene un voltaje de salida proporcional a la magnitud de la fuerza a la que está siendo sometido el acelerómetro.

Profundizando en el funcionamiento de los acelerómetros, el sistema se encuentra en reposo en ausencia de aceleración, es decir, cuando el dispositivo está estático o se mueve a velocidad constante. Una vez que el dispositivo sufre una aceleración, aparece una fuerza en sentido contrario al movimiento, provocando que todo el sistema se mueva. La masa, opone una resistencia al cambio de posición, presentando un movimiento relativo entre ella y las placas fijas. Este movimiento modifica el valor de la capacitancia, de manera que se obtiene un voltaje de salida proporcional a la magnitud de la fuerza a la que está siendo sometido el acelerómetro (Miguelés et al., 2017).

1. INTRODUCCIÓN

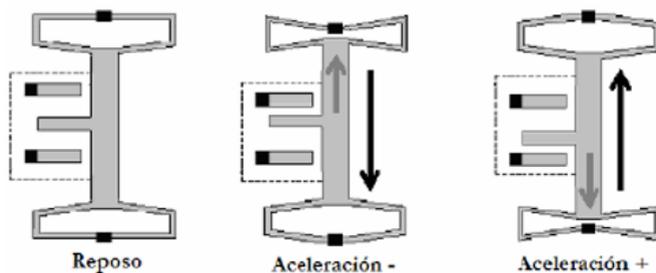


Figura 13. Comportamiento del sensor *MEMS* con aceleración (Fuente: López, 2015).

Los acelerómetros de estos dispositivos están colocados de tal forma que sus ejes de medición son perpendiculares entre sí (Krasnoff et al., 2008). Por lo que el acelerómetro triaxial produce datos al registrar la cantidad total de aceleraciones en los tres ejes (x, y, z): medio-lateral, antero-posterior y vertical respecto al eje de coordenadas del propio dispositivo. Al medir la frecuencia y la magnitud de estos movimientos (es decir, con qué frecuencia ocurren y qué grandes son), el acelerómetro puede calcular la aceleración inercial o también conocido como fuerza G (1G equivale a $9,8 \text{ m/s}^2$) total del atleta (Chambers et al., 2015; Waldron et al., 2011).

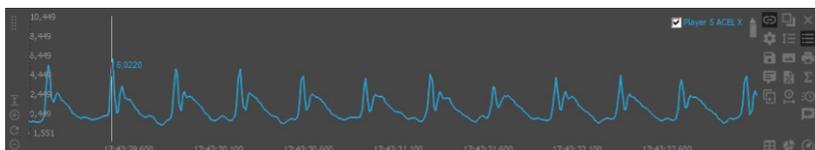


Figura 14. Señal del acelerómetro del eje x.
(Extraído de SPro, RealTrack Systems S.L.).

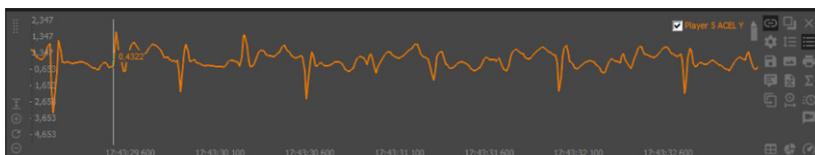


Figura 15. Señal del acelerómetro del eje y.
(Extraído de SPro, RealTrack Systems S.L.).

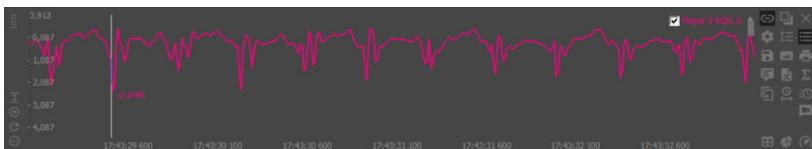


Figura 16. Señal del acelerómetro del eje z.
(Extraído de SPro, RealTrack Systems S.L.).



Figura 17. Señal del acelerómetro resultante.
(Extraído de Spro, RealTrack Systems S.L.).

Los acelerómetros se introdujeron por primera vez en la ciencia del deporte en principios del siglo XXI gracias al Proyecto 2.5 “*Technology of Communication to Athletes Monitoring*” llevado a cabo por el Centro Australiano de Investigación Microtecnológica para diseñar un dispositivo no intrusivo para la monitorización deportiva en tiempo real (Wu et al., 2007). Desde su aparición, ha habido un enorme desarrollo tecnológico, técnico y metodológico en el uso de la acelerometría para cuantificar la carga de trabajo externa en los deportes (Aroganam et al., 2019; Yang & Hsu, 2010). Estos dispositivos se han utilizado para cuantificar la actividad en una variedad de poblaciones, como en tercera edad o jóvenes (Kozey et al., 2010; Quigg et al., 2010) y en deportes colectivos como el fútbol (Casamichana et al., 2013; Hodgson et al., 2014). Los acelerómetros pueden evitar algunas de las limitaciones que existen con la medición de la frecuencia cardíaca y el análisis del *time-motion*, incluyendo una mayor frecuencia de muestreo en comparación con la tecnología GNSS (Pino-Ortega et al., 2018).

1. INTRODUCCIÓN

1.2.2. GIROSCOPIO

Un giroscopio es un sensor electromecánico que permite medir la velocidad angular de un cuerpo basando su funcionamiento en el “Efecto de Coriolis”. Este fenómeno se observa en un sistema de referencia en rotación cuando un cuerpo se encuentra en movimiento respecto de dicho sistema de referencia. Este efecto consiste en la existencia de una aceleración relativa del cuerpo en el sistema en rotación, que se caracteriza por ser siempre perpendicular al eje de rotación del sistema y a la velocidad del cuerpo (Reynolds et al., 2016).

Al igual que en el caso del acelerómetro, el giroscopio se genera mediante técnica *MEMS* y concretamente, el utilizado en los dispositivos *EPTS* tiene una configuración llamada “de horquilla vibrante”. Esta configuración está compuesta por dos masas que oscilan y se mueven de forma constante en direcciones opuestas (Esfandyari et al., 2010). Al aplicar una velocidad angular al dispositivo, las fuerzas de Coriolis resultantes de cada masa son también en sentidos opuestos, lo que provoca un cambio en la capacitancia, de manera que se obtiene un voltaje de salida proporcional a la magnitud de la velocidad angular a la que está siendo sometido el giroscopio (Horn & Fearn, 2007). Cuando la aceleración aplicada a las dos masas es lineal, dichas masas se mueven en el mismo sentido no produciéndose cambios en la capacitancia y el voltaje debe de ser cero.

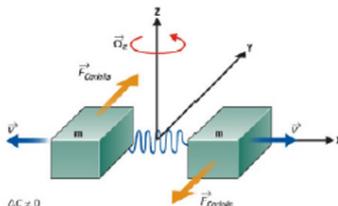


Figura 18. Esquema del giroscopio *MEMS* (Fuente: López, 2015).

Los giroscopios también colocados en un patrón ortogonal similar al acelerómetro, miden la posición rotacional tridimensional (Reenalda et al., 2019). Los tres ejes tridimensionales del giroscopio relativos al eje de coordenadas propio del dispositivo son: *pitch*, *roll* y *yaw*. *Pitch* mide la rotación en el eje perpendicular; *roll* mide la rotación en el eje longitudinal y *yaw* mide la rotación en el eje lateral. Permitiendo potencialmente la mejora de la detección de colisiones, giros y *tackles* en deportes de contacto (Gabbett, 2013).

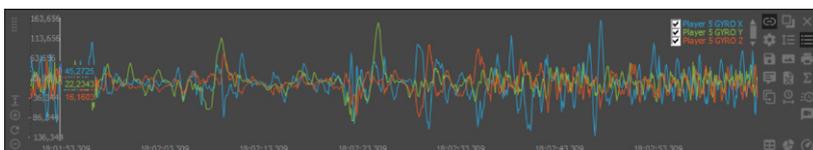


Figura 19. Señal del giroscopio de los tres ejes de movimiento (x, y, z)
(Extraído de SPro, RealTrack Systems S.L.).

Se ha demostrado que la combinación de los datos del giroscopio y el acelerómetro mejora la precisión de la recogida de datos en un 2-14% (Wundersitz, 2015). Esto simplemente sugiere incorporar el uso de los datos del giroscopio puede mejorar la precisión de los resultados. Además, también se ha sugerido que colocar acelerómetros y giroscopios en cada extremidad, como se hace a menudo en la investigación en biomecánica, también mejoraría la precisión de los resultados, en lugar de simplemente colocar una unidad en el centro de la parte superior de la espalda (Wundersitz, 2015). Resaltando así los problemas y la necesidad de desarrollo tecnológico para permitir tales prácticas en el alto rendimiento.

1.2.3. MAGNETÓMETRO

Los magnetómetros son sensores de medición de campo magnético y, concretamente, del campo magnético terrestre

1. INTRODUCCIÓN

(Ahmad et al., 2013). A nivel coloquial, podemos asemejar el magnetómetro a una brújula. Al igual que los acelerómetros y los giroscopios, el magnetómetro también es un sensor de tipo *MEMS* y fundamentalmente ayuda a disminuir la deriva del giroscopio (Ahmad et al., 2013).

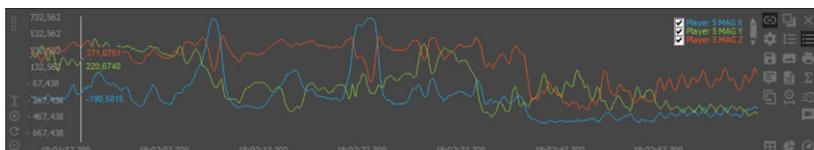


Figura 20. Señal del magnetómetro en los tres ejes (x, y, z)
(Extraído de SPro, RealTrack Systems S.L.).

El principio de funcionamiento de los magnetómetros se basa en la medición a través de magnetoresistencias que cambian su valor en función del campo que las atraviesa usando sensores *AMR* (*Anisotropic Magneto Resistive*). Estos cambios de resistencia, provocan variaciones de voltaje que permiten que el dispositivo encuentre el vector hacia el norte magnético de la tierra (Kozey et al., 2010).

Hay que tener en cuenta que los campos magnéticos provocados por la cercanía de una corriente eléctrica o por un imán también tienen influencia en las mediciones del magnetómetro. Por eso, es importante evitar las posibles interferencias que pueden provocar mediciones erróneas, como podría ser usar el magnetómetro cerca de un objeto metálico (Miguelés et al., 2017).

El magnetómetro puede ayudar en el mundo del alto rendimiento deportivo ya que los datos que ofrece se pueden fusionar junto con los datos del acelerómetro y el giroscopio para determinar el movimiento, la orientación y el rumbo de los jugadores.

1.2.4. BARÓMETRO

Los barómetros son sensores que permiten medir diferencias de presión y pueden ser de gran utilidad cuando ocurre un movimiento en el plano vertical, ya que de manera indirecta son capaces de medir la altitud (Sijtsma et al., 2013). Este tipo de sensores no se consideran sensores inerciales como el acelerómetro o el giróscopo, sin embargo, también se suelen implementar en las unidades de medición inercial (*IMU*). En este caso, el barómetro también se trata de un sensor de tipo *MEMS* (Wundersitz, 2015).

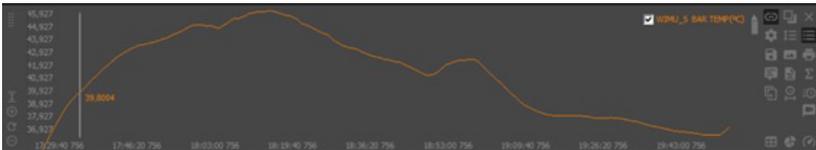


Figura 21. Señal de la temperatura del barómetro en °C.
(Extraído de SPro, RealTrack Systems S.L.).

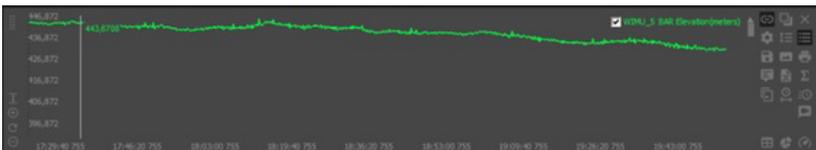


Figura 22. Señal de la altitud del barómetro en metros.
(Extraído de SPro, RealTrack Systems S.L.).

El principio de funcionamiento del barómetro es sencillo. Una variación de presión origina que el material piezorresistivo del sensor modifique su resistencia. Estos cambios de resistencia, provocan variaciones de voltaje que permiten que pueda calcular las diferencias exactas de presión (Zhang et al., 2012).

1.3. DEPARTAMENTO DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA DE LA *FIFA* Y EVOLUCIÓN DE LAS REGLAS DE JUEGO

El Departamento de Innovación Tecnológica del Fútbol de la *FIFA* ha trabajado durante años para poder estandarizar los dispositivos *EPTS*, consiguiendo finalmente, establecer normativas de utilización en competiciones oficiales. Dado que los sistemas de *VT* principalmente son utilizados únicamente en competición, los profesionales no disponían de datos durante los entrenamientos. Por lo que los dispositivos *EPTS* comienzan a ser usados en entrenamientos de equipos de élite, sin embargo, la *FIFA* no permitía su uso en competiciones oficiales. Con objetivo de ofrecer unas directrices que puedan seguir los distintos grupos de interés del mundo del fútbol por lo que respecta al uso de estos aparatos en partidos oficiales, el Departamento de Innovación Tecnológica del Fútbol de la *FIFA* trabaja en la estandarización de los dispositivos de seguimiento electrónico del rendimiento de los futbolistas.

Si hacemos un breve recorrido sobre la evolución de los sistemas de seguimiento aplicados en deportes colectivos como el fútbol, fue en el año 2015 cuando la *FIFA* estableció las reglas y reguló el uso de estos dispositivos bajo el acrónimo de *EPTS*.

Resaltar que en la edición de 2017/2018 de las Reglas de Juego (regla nº4) (*FIFA*, 2017) se actualiza para regular el uso de estos dispositivos; para ello, se ha introducido un estándar mínimo que habrán de cumplir para que se permita su uso en un partido oficial.



Figura 23. Evolución de las Reglas de Juego en cuanto al uso de EPTS.¹

Los EPTS deberán cumplir el estándar *International Match Standard (IMS)*, en adelante) estipulado en el Programa de Calidad de la *FIFA* para dispositivos portátiles de seguimiento del rendimiento de los jugadores.



Figura 24. *International Match Standard (IMS)*.²

Este sello indica que el material ha sido probado oficialmente y satisface los requisitos mínimos de seguridad *International Match Standard* desarrollado por la *FIFA* y aprobado por el *International Football Association Board (IFAB)*.

Para la obtención de este sello, todos los dispositivos deberán someterse a una serie de pruebas, que se realizarán en un laboratorio independiente. Los test únicamente se realizarán a los EPTS portátiles; además, la aprobación del aparato no

¹[07/07/2020] Adaptado de: <https://objetivoanalista.com/epts/>

²[14/04/2020] Fuente: <https://football-technology.fifa.com/es/media-tiles/about-the-ims-standard-for-wearable-tracking-devices/>.

1. INTRODUCCIÓN

deberá entenderse en ningún caso como la evaluación de la calidad de los datos que suministre.

En la tabla 8 se muestran los diferentes sistemas que han obtenido el certificado *IMS*:

Tabla 8. Sistemas *EPTS* que han obtenido el certificado *IMS* otorgado por *FIFA*³.

Compañía	País
Avanced Sport Instruments SA	Suiza
Catapult	Australia
Exelio Srl	Italia
Fitotogether Inc.	Corea del Sur
STATSports Group LTD	Irlanda del Norte
REALTRACK SYSTEMS S.L.	España
STATS Sports Data and Technology Ireland Limited	Irlanda
Visuallex Sport International Ltd	Nueva Zelanda
Polar Electro Oy	Finlandia

Siguiendo el mandato del *IFAB* para crear estándares globales para estos sistemas, la *FIFA* ha buscado expertos en la industria tecnológica y el fútbol para proporcionar soluciones para el deporte. Un eje de esta investigación es el desarrollo de un formato estándar de transferencia de datos para crear y comparar datos de diferentes fuentes y proveedores sin la necesidad de múltiples aplicaciones. Para ello la *FIFA* en colaboración con el F.C. Barcelona, ha elaborado un documento en el que se encuentra la primera versión de un formato estándar de transferencia de datos para los datos generados a través de *EPTS*, de manera que permita a los clubes intercambiar datos de forma adaptable, modular y estandarizada.

³[17/03/2020] Fuente: <https://football-technology.fifa.com/en/media-tiles/fifa-quality-performance-reports-for-epts/>.

Por último, con el objetivo de atender a organizadores de ligas y competiciones en caso de tener que aprobar el uso de dispositivos *EPTS*, la *FIFA* añade respecto a la normativa anterior un estándar de referencia (aprobado por la *IFAB*) en cuanto a los requisitos de fiabilidad y precisión de los datos procedentes de los dispositivos *EPTS*.



Figura 25. Sello de Certificación *FIFA Quality*⁴.

En la tabla 9 se muestran los diferentes sistemas que han obtenido el certificado *FIFA Quality*:

Tabla 9. Sistemas certificados con el sello *FIFA Quality*⁵.

Compañía	Dispositivo	GNSS	LPS	VT
Catapult	S5	✓		
Catapult	Vector	✓	✓	
ChyronHego	TRACAB Gen5			✓
Realtrack	WIMU PRO	✓	✓	
STATSports	Apex	✓		
Track160	Coach 160			✓

⁴[17/03/2020] Fuente: <https://football-technology.fifa.com/en/media-tiles/fifa-quality-programme-for-epts/>.

⁵[17/03/2020] Fuente: <https://football-technology.fifa.com/en/media-tiles/fifa-quality-programme-for-epts/>.

1.4. VARIABLES PARA EL ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO

Los sistemas *EPTS* ofrecen una cantidad de datos inmensa, lo que hace necesario un filtrado para su posterior estudio. El principal objetivo de este proceso es la obtención de indicadores de intensidad y volumen que permitan conocer la carga desarrollada por los jugadores, lo cual facilita a los entrenadores y preparadores físicos la adaptación en el diseño de los entrenamientos a las demandas de la propia competición (Carling et al., 2011; Carling et al., 2008; Dellal et al., 2011).

Los datos de rendimiento pueden ser categorizados en cuatro grupos principales de variables: variables fisiológicas, variables de carga mecánica, variables locomotoras y variables de aceleración, velocidad y distancia (Caparrós et al., 2018), aunque no parece haber un claro consenso en este sentido. Basándonos en Caparrós et al., (2018) para clasificar las variables que ayudan a describir las demandas de entrenamiento y competición, proponemos un primer nivel en función del sensor de procedencia del dato, encontrando cuatro grupos principales: (i) variables obtenidas a partir del posicionamiento del jugador (sensores de tracking), (ii) variables obtenidas a partir de los sensores inerciales, (iii) variables obtenidas a partir de otras señales (por ejemplo, frecuencia cardíaca) y (iv) variables psicológicas.

Dado el gran número de información que nos ofrecen los dispositivos *EPTS* debemos de ser muy críticos a la hora de elegir las variables e índices para cuantificar las demandas físicas a las que son sometidos nuestros jugadores, ya que como hemos podido comprobar anteriormente, encontramos variables e índices que son el resultado de la aplicación de fórmulas, algoritmos o que simplemente son las mismas variables relativas al tiempo, por lo que sin querer estamos

viendo la misma información con otra nomenclatura. Al hilo de lo anteriormente expuesto, ya existen publicaciones que analizan cuales son los componentes principales (variables, índices, indicadores) que describen las demandas del fútbol, pudiendo así elegir aquellos que describen significativamente los requerimientos condicionales (Oliva-Lozano et al., 2020).

1.4.1. VARIABLES OBTENIDAS A PARTIR DEL POSICIONAMIENTO DEL JUGADOR

Como ya se ha analizado previamente, el rendimiento a nivel físico o condicional puede variar por multitud de variables contextuales: rival, formación del equipo, estado emocional, edad del jugador, nivel del equipo, marcador parcial, localización del partido (local o visitante), posición específica del jugador y longitud del microciclo, periodo de partido, tipo de competición, nivel del oponente, estilo de juego del equipo, la densidad competitiva o número de partidos por semana (Aquino et al., 2017; Bradley et al., 2010; Castillo et al., 2019; Dellal et al., 2010; Djaoui et al., 2018; Ekblom, 1986; Granero-Gil et al., 2020; Lago-Peñas et al., 2009; Martín-Moya & Ruíz-Montero, 2019; Mohr et al., 2003; Odetoynbo et al., 2007; Oliva-Lozano et al., 2020; Pettersen & Brenn, 2019; Pino-Ortega et al., 2019; Rago et al., 2019; Reche-Soto et al., 2019b; Reilly, 1976; Rienzi et al., 2000; Vescovi et al., 2011), por lo que siempre es recomendable contextualizar a nuestro entorno o grupo de jugadores con el que estamos trabajando.

La distancia total recorrida (D_T) ha sido una de las primeras variables estudiadas y la más incluida a lo largo de la literatura (Cummins et al., 2013; Reilly & Thomas, 1976). Esta variable ha sido analizada tanto en competición (Bangsbo et al., 2006; Pettersen & Brenn, 2019) como en entrenamiento (Reche-Soto, 2019c; Zurutuza & Castellano, 2020).

1. INTRODUCCIÓN

Según Bosco y Vila (1991) se recorren en un partido de fútbol distancias próximas a los 11 km. Bangsbo et al., (1991) encontraron distancias similares, pero encontraron diferencias entre defensas (10,1 km), delanteros (10,5 km) y centrocampistas (11,4 km). Datos que concuerdan con los resultados analizados en estudios posteriores (Di Salvo et al., 2007; Mallo et al., 2015). Como hemos visto anteriormente, la variable D_T no parece ser una variable sensible a la evolución de las demandas del fútbol, puesto que los resultados encontrados en publicaciones de hace más de una veintena de años coinciden con las demandas del fútbol actual, pudiendo afirmar que la D_T no marca la diferencia del rendimiento físico (Ekblom, 1986).

Por otro lado, los resultados están condicionados por la edad y el nivel competitivo de los jugadores, encontrando que los jugadores de máximo nivel recorren un 5% más ($p < 0.05$) que los jugadores que compiten en competiciones de menor categoría (10860 ± 180 y 10330 ± 260 m, respectivamente) (Mohr et al., 2003). De igual modo, jugadores sub 18 recorren unos 8867 m frente a los 6549 m que abarcan jugadores sub 13 (27.2% de diferencia) (Buchheit et al., 2010). Resulta evidente considerar otros factores como la intensidad o la frecuencia, junto a la D_T para determinar el rendimiento del futbolista (Carling et al., 2008).

Comúnmente podemos encontrar otra forma de expresar la distancia relativizándola al tiempo de juego (m/min), considerándose más precisa para la cuantificación del esfuerzo del partido o entrenamiento (Martínez, 2019). Mientras que la D_T se podría utilizar como un indicador de volumen de trabajo, la distancia relativa al tiempo de juego se podría utilizar como un indicador de intensidad (Cummins et al., 2013). De igual modo a la D_T , la distancia relativa estaría condicionada por la edad de los jugadores y el nivel de la competición en la que participen los jugadores (Lago-Peñas et al., 2009).

Puesto que resulta evidente que el conocimiento de la D_T recorrida no es una medida suficiente de la valoración de la exigencia física (Miñano-Espin et al., 2017), se necesita comprobar los metros recorridos en diferentes tramos de velocidad.

Estos tramos de velocidad han sido establecidos de manera desigual en la literatura (Bangsbo et al., 1991; Bradley et al., 2009; Mohr et al., 2003; Pirnay et al., 1991; Reilly, 1976), dificultando así la unificación de criterios y resultados. Desde Reilly y Thomas (1976) con la clasificación de carrera lenta, velocidad elevada y sprint, a autores como Bradley et al., (2009) proponiendo la clasificación de los tramos de velocidad en: parado (0 - 0.6 km/h), andando (0.7 - 7.1 km/h), trotando (7.2 - 14.3 km/h), corriendo (14.4 - 19.7 km/h) alta velocidad de carrera (19.8 - 25.1 km) y sprint (>25.1 km/h) y autores como Mohr et al., (2003) que proponen: parado (0 - 6 km/h), andando (6 km/h), *jogging* (8km/h), baja velocidad (12km/h), velocidad alta (18 km/h) y sprint (30 km/h). Del mismo modo los dispositivos *EPTS* también ofrecen datos sobre la velocidad media y máxima de los jugadores.

Las diferentes empresas que desarrollan dispositivos *EPTS* permiten establecer el número de zonas que el usuario considere oportuno en sus softwares de análisis, permitiendo así una adaptación real al contexto.

Lo que sí parece evidente y parece existir acuerdo es la relevancia de las distancias recorridas a velocidades más altas. La distancia recorrida a alta intensidad (*High Speed Running*, *HSR* en adelante) y la distancia a sprint son factores claves para el rendimiento en fútbol (Bradley et al., 2010; Di Salvo et al., 2009), siendo determinantes para la consecución del éxito en competición (Andersson et al., 2010; Krustup et al., 2005; Mohr et al., 2003), formando parte de los momentos determinantes del partido, marcar, asistir a un compañero

1. INTRODUCCIÓN

o evitar un gol (Carling et al., 2008; Varley & Aughey, 2013). En tanto que la D_T recorrida puede variar de partido a partido para algunos jugadores, la distancia recorrida a alta intensidad parece ser menos sensible a variaciones (Bangsbo, 1994).

En este punto nos encontramos de nuevo con la problemática de qué es alta intensidad y sprint y a partir de que umbral se consideran. Autores como Reilly et al., (2000) consideran que el término alta intensidad engloba la distancia recorrida por encima de 14 km/h y sprint por encima de 21 km/h. Si hacemos un análisis más profundo en la literatura, nos encontramos con un amplio número de categorías que establecen la velocidad de inicio a partir de la cual se considera alta intensidad: 13 km/h (Hill-Haas et al., 2011); 14.4 km/h (Carling et al., 2011; Scott et al., 2013); 15 km/h (Andersson et al., 2010); 18 km/h (D'Ottavio & Castagna, 2001); 19.1 km/h (Carling & Bloomfield, 2010; Di Salvo et al., 2007) y 19.8 km/h (Carling et al., 2011; Weston et al., 2006).

Del mismo modo ocurre a la hora de establecer el mínimo de velocidad a partir del cual se puede considerar como velocidad a sprint, encontrado propuestas como: 21 km/h (Casamichana et al., 2012; Suarez-Arrones et al., 2014); 22 km/h (Mohr et al., 2010); 23 km/h (Di Salvo et al., 2007); 24 km/h (Roberts et al., 2006); 25.2 km/h (Di Salvo et al., 2010) 30 km/h (Mohr et al., 2003). Aunque el sprint solamente represente entre un 1% y un 12% del total de la distancia recorrida en partido, se considera como la actividad más importante en el rendimiento de un futbolista en competición (Rienzi et al., 2000; Van Gool et al., 1988). En esta ocasión sucede igual que con los umbrales de velocidad a alta intensidad, la gran mayoría de softwares permiten al usuario la elección del umbral.

A la hora de analizar los datos recorridos en altas velocidades debemos de llevar especial cuidado y tener en cuenta la herramienta utilizada (Miñano-Espin et al., 2017). Por

ejemplo, en cuanto a la distancia a alta intensidad podemos encontrar un 14% de diferencia entre la tecnología *GNSS* y la de *VT*, llegando hasta diferencias de un 40 % (Harley et al., 2011). Aunque por otro lado, como hemos visto anteriormente, recientes estudios no encuentran diferencias significativas en dichas variables entre los dispositivos *GNSS* y sistemas de *VT* (Pons et al., 2019).

Las variables anteriormente mencionadas, *HSR* y *sprint* las podemos encontrar como distancia recorrida (a partir de los umbrales establecidos previamente) y número de veces, es decir, contador de *HSR* o *sprint*. Como disyuntiva a los umbrales absolutos, otros autores proponen el uso de umbrales individualizados a la velocidad máxima del jugador o a la velocidad máxima aeróbica (Abt & Lovell, 2009; Buchheit et al., 2013; Dwyer & Gabbett, 2012; Harley et al., 2010; Sparks et al., 2016).

Igualmente, junto a la distancia recorrida y sus diferentes clasificaciones a distintas velocidades, encontramos otras variables que nos informan también sobre el rendimiento físico de los futbolistas, las aceleraciones y desaceleraciones. Para esto, los dispositivos *EPTS* nos ofrecen los valores del cambio de velocidad en m/s^2 (Little & Williams, 2005; Osgnach et al., 2010). Estas aceleraciones y desaceleraciones se han analizado en función de determinadas categorías de intensidad atendiendo a umbrales absolutos principalmente, aunque también a día de hoy a umbrales relativos a la capacidad máxima de aceleración y desaceleración del jugador. En la literatura y en el mundo del alto rendimiento podemos encontrar estas actividades contabilizadas mediante número de eventos (aceleraciones y desaceleraciones), distancia recorrida acelerando y desacelerando, tiempo en cada zona de intensidad (todas las anteriores también representadas relativas al tiempo de juego) y el valor máximo de aceleración y desaceleración (Aughey, 2010). Respecto a esto último los umbrales más

1. INTRODUCCIÓN

utilizados son $1-2 \text{ m/s}^2$; $2-3 \text{ m/s}^2$ y $> 3 \text{ m/s}^2$ (Ade et al., 2014; Akenhead et al., 2013; Hodgson et al., 2014; Osgnach et al., 2010). Estas variables son utilizadas para valorar la exigencia neuromuscular y la fatiga (Akenhead et al., 2013; Bradley et al., 2010; Méndez-Villanueva et al., 2012), siendo la variable número de aceleraciones por minuto (acc/min) el indicador de carga externa que más se relaciona con la medida de intensidad a través de la percepción subjetiva del esfuerzo (Gaudino et al., 2015). Otro aspecto a tener en cuenta es la velocidad inicial previa a la aceleración o desaceleración, ya que se considera un factor determinante de la capacidad máxima acelerativa o desacelerativa (Sonderegger et al., 2016).

Continuando con lo expuesto anteriormente y teniendo en cuenta la propuesta de autores Gaudino et al., (2014) y Osgnach et al., (2010), si analizamos la velocidad y las aceleraciones/desaceleraciones por separado, se puede correr el riesgo de no llegar a comprender globalmente toda la actividad. El análisis de la distancia recorrida en diferentes umbrales de intensidad podría obviar las demandas energéticas relacionadas a las acciones de aceleración y desaceleración (Gaudino et al., 2013; Osgnach et al., 2010), subestimando las demandas reales (Akenhead et al., 2013; Manzi et al., 2014). Lo que nos puede llevar a entender que un jugador puede desarrollar una carga metabólica alta no solamente con acciones que requieran de una alta velocidad, sino también en actividades que tengan implicadas acciones de aceleración y desaceleración aunque no exista una velocidad de desplazamiento alta (Gaudino et al., 2014; Osgnach et al., 2010). En base a esta propuesta, Prampero (2005) propone un nuevo indicador para cuantificar la carga física, *Power Metabolic (PM*, en adelante). El *PM* se calcula a partir del coste energético (CE, en adelante) y la velocidad de las actividades realizadas ($PM = CE \cdot s$). Otro índice que podemos encontrar en la literatura derivado del *PM* es *High Metabolic Load Distance (HMLD*, en adelante). Se trata de la

distancia recorrida cuando el valor del PM es igual o superior a 25.5 W/kg (Malone et al., 2016).

Finalmente en la tabla 10 se recogen las principales variables utilizadas para la cuantificación de la carga externa a partir del posicionamiento del jugador:

1. INTRODUCCIÓN

Tabla 10. Principales variables para la cuantificación de la carga externa a partir del posicionamiento del jugador.

Distancia Total Recorrida (m)	Distancia Relativa al tiempo: m/min
Tiempo en cada Umbral de Velocidad (hh:mm:ss)	Distancia recorrida en cada Umbral de Velocidad
Distancia Recorrida a Alta Intensidad: <i>HSR</i> (m)	Número de <i>HSR</i> (contador)
Distancia Recorrida a Sprint (m)	Numero de Sprint (contador)
Distancia Recorrida a Alta Intensidad Relativa a la Velocidad Máxima del Jugador: <i>HSR</i> Relativo (m)	Número de <i>HSR</i> Relativo (contador)
Distancia Recorrida a Sprint Relativo a la Velocidad Máxima del Jugador (m)	Número de Sprint Relativo (contador)
Velocidad Máxima del Jugador (km/h)	Velocidad Media del Jugador (km/h)
Número de Aceleraciones Absolutas (contador)	Número de Desaceleraciones Absolutas (contador)
Número de Aceleraciones Relativas a la Capacidad Máxima de Aceleración del Jugador (contador)	Número de Desaceleraciones Relativas a la Capacidad Máxima de Desaceleración del Jugador (contador)
Distancia Recorrida Acelerando (m)	Distancia Recorrida Desacelerando (m)
Número de Aceleraciones en los diferentes Umbrales de Aceleración (contador)	Número de Desaceleraciones en los diferentes Umbrales de Desaceleración (contador)
Tiempo en cada Umbral de Aceleración (hh:mm:ss)	Tiempo en cada Umbral de Desaceleración (hh:mm:ss)
Distancia en cada Umbral de Aceleración (m)	Distancia en cada Umbral de Desaceleración (m)
Aceleraciones Relativas al Tiempo (acc/min)	Desaceleraciones Relativas al Tiempo (dec/min)
<i>Power Metabolic</i> (W/kg)	<i>High Metabolic Load Distance (HMLD)</i> (m)

1.4.1.1. VARIABLES TÁCTICAS

Los dispositivos *EPTS* no solo nos ofrecen datos para hacer el análisis físico o cinemático del jugador, sino que además, basándose en el posicionamiento del jugador nos permiten también realizar un análisis táctico (Beato, et al., 2018; Cummins et al., 2013; Scott et al., 2015).

Tomando como referencia la posición de cada jugador (coordenadas x-y en un tiempo) se han propuesto variables para evaluar comportamientos colectivos en deportes de equipo (Reche-Soto et al., 2019a). Estas se han denominado variables posicionales compuestas porque integran las posiciones individuales de cada jugador del equipo en una descripción significativa de un patrón de equipo colectivo (Silva et al., 2014b). La mayor parte del comportamiento táctico está condicionado por la coordinación y el respeto de los jugadores por los principios definidos dentro de cada formación planificada (Sampaio & Maças, 2012). Por lo tanto, parece muy probable que el rendimiento de los equipos de fútbol dependa de cómo los jugadores se posicionan dinámicamente de acuerdo con los principios generales de distribución del espacio de los equipos y las restricciones dinámicas del entorno de juego (Araujo et al., 2006).

Esta información permite establecer variables tácticas individuales, por ejemplo mapas de calor, y también permiten la obtención de variables tácticas colectivas, para las que recientemente se ha discutido su clasificación. Rico-González et al., (2020) las clasifican en tres grupos: punto, línea y área, mientras que Low et al., (2020) las clasifican en centroide, diadas, áreas y Voronoi. Finalmente encontramos otras clasificaciones más generales que hacen referencia a microestructuras y macroestructuras (Araújo & Davids, 2016).

1. INTRODUCCIÓN

Muchos de los sistemas comercializados permiten mostrar este tipo de análisis táctico en tiempo real y permitiendo así a los técnicos tomar decisiones al momento, como veíamos anteriormente.

Hace más de 15 años, Schöllhorn, (2003) propuso, entre otras medidas, el centro geométrico (del inglés *Geometrical Centre*, GC en adelante) para cuantificar el comportamiento táctico en los deportes de equipo. Se trata del centro de gravedad común de varios o todos los miembros del equipo. Sin embargo, esta variable táctica no se utilizó hasta unos años más tarde, cuando Yue et al., (2008) calcularon el centro geométrico de dos equipos de fútbol para evaluar la amplitud longitudinal y lateral y sus movimientos con respecto al balón. Actualmente, la mayoría de estudios (Bourbousson et al., 2010; Frencken et al., 2011; Lames et al., 2010) utilizan el concepto sugerido por Yue et al., (2008) excluyendo al portero, aunque también denominando al centro geométrico centro de gravedad (Lames et al., 2010) y espacio central (Bourbousson et al., 2010).

Según la naturaleza de los elementos u osciladores, las diadas o relaciones pueden ser clasificadas en jugador-jugador (jugador-oponente, jugador-compañero), jugador-espacio, jugador-balón y jugador-centro geométrico. Las relaciones jugador-jugador se utilizan para medir la longitud y el ancho del equipo y las relaciones jugador-centro geométrico para evaluar la dispersión del equipo. Las relaciones jugador-espacio se han utilizado para medir las áreas relevantes del espacio de juego. Respecto a esto, se han utilizado varias técnicas para analizar la sincronización, fase relativa mediante la Transformada de Hilbert y por análisis de cluster. Mientras que la complejidad y regularidad o previsibilidad ha sido analizada mediante entropías aproximadas o entropías de muestra a partir de los datos de las diadas en equipo.



Figura 26. Depth Map.

(Extraído de SVivo, RealTrack Systems S.L.).

La interacción entre dos jugadores evaluada en distancia es la microestructura más común analizada en deportes de equipo (Bourbousson et al., 2010; Esteves et al., 2016; Olthof et al., 2018; Passos et al., 2008; Shafizadeh et al., 2016; Travassos et al., 2012; Vilar et al., 2014; Yue et al., 2008), aunque este concepto también ha sido utilizado para cuantificar la relación entre diferentes osciladores como por ejemplo centro geométrico-espacio, centro geométrico-balón, jugador-espacio, etc., (Duarte et al., 2012; Folgado et al., 2018; Silva et al., 2014a; Yue et al., 2008).

Referente a las variables de área ocupada, Grehaigne et al., (1997) sugirieron el área de juego efectiva (del inglés *effective playing-area, EPS*), el área poligonal obtenida por una línea que une a todos los jugadores de ambos equipos (excepto los porteros que se encuentran ubicados en la periferia del juego), para evaluar el uso del espacio en fútbol (Grehaigne et al., 2005). Más tarde, Okihara et al., (2004) propuso la medición del área del equipo. Desde entonces, se han utilizado estas variables y se han propuesto algunas modificaciones para analizar el espacio ocupado por los jugadores en deportes de equipo.

1. INTRODUCCIÓN



Figura 27. Área ocupada por el equipo.
(Extraída de SVivo, RealTrack Systems S.L.).

Otro ejemplo de la aplicación práctica de la dinámica de posicionamiento de los jugadores a partir del área ocupada es el mapa de Voronoi (Fonseca et al., 2012). Este enfoque permite medir el dominio espacial al dividir el área de campo en zonas más cercanas a cada uno de los jugadores de acuerdo con sus posiciones dinámicas. El mapa de Voronoi contribuye a una mejor comprensión de los eventos dinámicos del juego al proporcionar información complementaria sobre las decisiones de los jugadores y también la aparición de patrones de comportamientos colectivos (Gonçalves, 2018).



Figura 28. Mapa de Voronoi.
(Extraída de SVivo, RealTrack Systems S.L.).

En cuanto a las variables individuales obtenidas a partir del posicionamiento del jugador destaca el mapa de calor (*heat map*). Este indica la frecuencia de la posición de un jugador en una ubicación determinada del campo (Moura et al., 2015). Por lo que la zona del campo que más visitó un jugador puede representar el punto de equilibrio definido por su posición táctica (Couceiro et al., 2014). Aunque los mapas de calor no proporcionan las coordenadas del jugador en función del tiempo para permitir la cuantificación de la variabilidad posicional durante un partido, utilizando el procesamiento de imágenes es posible detectar la ubicación del campo de juego que un determinado jugador ha visitado más (Moura et al., 2015).



Figura 29. Representación del mapa de calor.
Extraída de SVivo (RealTrack Systems S.L.).

Finalmente en la tabla 11 se recogen las principales variables utilizadas para la cuantificación de la carga táctica a partir del posicionamiento del jugador:

Tabla 11. Principales variables para la cuantificación de la carga táctica a partir del posicionamiento del jugador.

Centro Geométrico del Equipo	Distancias entre Jugadores (m)
Depth Map (m)	Área Ocupada por el Equipo (m ²)
Mapa de Voronoi	Mapa de Calor

1. INTRODUCCIÓN

1.4.2. VARIABLES OBTENIDAS A PARTIR DE LOS SENSORES INERCIALES.

Se ha desarrollado una gran cantidad de variables utilizando datos registrados por el acelerómetro. Como hemos visto anteriormente, los acelerómetros nos informan de las fuerzas G soportadas por los deportistas pero el análisis de esta información ha tendido a ser más complejo porque las diferentes compañías usan diferentes algoritmos para clasificar las acciones y esto limita la comparabilidad entre los estudios (Malone et al., 2017). A continuación se muestran las diferentes variables especificando la compañía encargada de su desarrollo:

- Desarrollado por ActiGraph LLC y GENEActiv (Kunze et al., 2010; O'Donovan et al., 2007; Reche-Soto et al., 2020; Rowlands et al., 2015; Staunton et al., 2018):

$$AcelT$$
$$\sum \sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)}$$

Siguiendo las instrucciones del fabricante en cuanto a la colocación y orientación del dispositivo, se trata de la suma vectorial de la aceleración total (G) registrada por el acelerómetro producto de la gravedad (eje y), cambios en el movimiento horizontal (eje x) y fuerzas relacionadas con los movimientos de rotación (eje z) de un segmento corporal u objeto al que el acelerómetro esté fijado.

- Desarrollado por RealTrack Systems S.L (Reche-Soto, et al., 2019b):

Player Load_{RT}

$$PL_{RT} = \sqrt{\frac{(X_n - X_{n-1})^2 + (Y_n - Y_{n-1})^2 + (Z_n - Z_{n-1})^2}{100}}$$

$$PL_{acummulated} = \sum_{n=0}^m PL_{RT} \times 0.01$$

Suma vectorial de los datos del acelerómetro en sus 3 ejes de movimiento (vertical, anteroposterior y lateral). Se representa en unidades arbitrarias (en adelante, u.a.) y se calcula a partir de la ecuación anterior donde PL_{RT} es la carga del jugador calculada en el momento actual; X_n , Y_n y Z_n son los valores de BodyX, BodyY y BodyZ en el momento actual; y X_{n-1} , Y_{n-1} y Z_{n-1} son los valores de BodyX, BodyY y BodyZ en el momento anterior. Luego, la suma de PL_{RT} durante la sesión se calcula y multiplica por 0.01 como factor de escala.

- Desarrollado por Catapult Sports (Boyd et al., 2011):

PlayerLoadTM

$$\sum \sqrt{\frac{(fwd_{t=i+1} - fwd_{t=i})^2 + (side_{t=i+1} - side_{t=i})^2 + (up_{t=i+1} - up_{t=i})^2}{100}}$$

Suma vectorial de los cambios en la aceleración en los planos frontal, transversal y sagital. Se representa en u.a.

- Desarrollado por ZephyrTM (Gentles et al., 2018):

Impulse Load

$$\sum_{s=1}^n \frac{\sqrt{x_s^2 + y_s^2 + z_s^2}}{9.8067}$$

1. INTRODUCCIÓN

Sumatorio de las fuerzas recogidas en el eje medio-lateral (x), en el eje antero-posterior (y) y en el eje vertical (z) y escalado por la gravedad. Se representa en Newton por segundo (N/m).

- Desarrollado por ZXY SportTracking (Dalen et al., 2016):

Player Load_{RE}

$$\sum \frac{(x^2 + y^2 + z^2)}{800}$$

La carga del jugador se calcula y se presenta como un valor reducido (es decir, dividido por 800) de la suma cuadrada de los valores del acelerómetro para los ejes respectivos (x, y, z). Por lo tanto, el valor de la carga es el cuadrado reducido de la aceleración absoluta del jugador. La reducción de escala se utiliza por razones prácticas y se representa en u.a.

- Desarrollado por StatSports (Bowen et al., 2017):

Total Load

$$\sum \frac{\sqrt{(aca_{t=i+1} - aca_{t=i})^2 + (acl_{t=i+1} - acl_{t=i})^2 + (acv_{t=i+1} - acv_{t=i})^2}}{1000}$$

Representa las aceleraciones totales acumuladas del jugador basadas en datos del acelerómetro, donde aca es la aceleración a lo largo del eje anterior-posterior, acl es la aceleración a lo largo del eje lateral y acv es la aceleración a lo largo del eje vertical, i es el tiempo actual y t es el tiempo, esto se escala en 1000 y se representa en u.a.

También encontramos autores que han utilizado el número de impactos para la cuantificación de las demandas de carga externa en competición (Arruda et al., 2015; Russell et al., 2015), utilizando el número de impactos >2G o categorizando como

impactos de alta intensidad a los superiores a 9G. Al mismo tiempo también encontramos clasificaciones por umbrales de intensidad para los impactos: 5.00-6.00 G (ligeros); 6.01-6.5 G (ligeros-moderados); 6.51-7.00 G (moderados-intensos); 7.01-8.00 G (intensos); 8.01-10 G (muy intensos) (Arruda et al., 2015; Cummins et al., 2013). Esta variable se puede encontrar en la literatura como número de impactos totales, número de impactos en umbrales de intensidad y ambas anteriores como relativas al tiempo.

Tomando el número de impactos y su intensidad, encontramos en la literatura otro índice de cuantificación de las demandas condicionales proveniente de los sensores inerciales. Se trata del *Dynamic Stress Load (DSL*, en adelante), definido como el total de los impactos ponderados utilizando una función de forma convexa (Malone et al., 2018). Este índice ha sido utilizado recientemente para el análisis de las demandas específicas del portero en entrenamiento y competición (Moreno-Pérez et al., 2020).

Finalmente en la tabla 12 se recogen las principales variables utilizadas para la cuantificación de la carga externa a partir de la información obtenida de los sensores inerciales:

Tabla 12. Principales variables para la cuantificación de la carga externa a partir de la información obtenida de los sensores inerciales.

<i>AceIT</i> (a.u.)	<i>Player Load_{RT}</i> (a.u.)
<i>PlayerLoadTM</i> (a.u.)	<i>Impulse Load</i> (N/m)
<i>Player Load_{RE}</i> (a.u.)	<i>Total Load</i> (u.a)
Número de Impactos (contador)	<i>Dynamic Stress Load</i> (u.a)

1.4.3. VARIABLES OBTENIDAS A PARTIR DE OTRAS SEÑALES: FRECUENCIA CARDIACA.

Como complemento a los sensores que hemos visto anteriormente, los dispositivos *EPTS* utilizan conjuntamente otra de serie de sensores como pueden ser bandas de frecuencia cardiaca, medidores de oxígeno muscular o potenciómetros. Esto es posible gracias a las diferentes tecnologías de comunicación que disponen los dispositivos *EPTS*, Bluetooth, Ant+ o wifi entre otras, permitiendo así la interconexión inalámbrica de los dispositivos.

La Frecuencia Cardiaca (FC, en adelante) es posiblemente una de las variables fisiológicas más analizadas y estudiadas en fútbol, ya que permite cuantificar la respuesta interna del organismo del jugador ante los estímulos de carga externa de una manera rápida y no invasiva (Ferreira, 2002).

Siendo de gran ayuda conocer la frecuencia cardiaca en competición (Bosco & Vila, 1991), no podemos pasar por alto que la FC está influenciada por numerosos factores externos e internos al propio jugador: tamaño y características del terreno de juego, marcador parcial, puesto específico, modelo de juego, estado de forma del jugador, pausas, número de jugadores, etc. (Martínez, 1998), teniendo que tener especial cuidado en el análisis y siempre debiendo contextualizar al propio entorno.

La Frecuencia Cardiaca máxima (FCmax, en adelante) también ha sido estudiada por diversos autores, ya que se considera un dato imprescindible para poder evaluar la actividad que está realizando el jugador. Esta se determina a partir de test en entornos cerrados mediante la realización de esfuerzos máximos (Casajús, 2001; Santos & Soares, 2002) aunque el protocolo utilizado y el ergómetro pueden marcar diferencias en los resultados obtenidos (García, 2005).

Numerosos estudios sitúan la FC media durante la competición en un rango del 80 al 90 % de la FC máxima de jugador (Agnevik, 1970; Chamoux et al., 1988; Ekblom, 1986; García-García, 2005; Jiménez et al., 1993; Martínez, 1998; Potiron-Josse et al., 1980; Rago et al., 2019; Seliger, 1968; Van Gool et al., 1988). Sin embargo, se ha contrastado en otras investigaciones que estos datos no son uniformes y presentan oscilaciones importantes (Bangsbo, 1994; Bosco & Vila, 1991; Chamoux et al., 1988; Ekblom, 1986; Pirnay et al., 1991) sugiriendo que además del carácter del esfuerzo intermitente del fútbol, este se juega a una intensidad cercana a valores submáximos (Ferreira, 2002).

Los procesos de adaptación del futbolista a los requerimientos de entrenamientos y competición, el seguimiento de procesos de readaptación tras lesiones, incluso el análisis de los procesos de estrés y recuperación pueden ser evaluados mediante la variabilidad de la FC (VFC, en adelante) (Hynynen et al., 2006). La VFC se encuentra definida como la variación de la distancia entre los intervalos RR (variaciones de tiempo entre latido y latido) (Font et al., 2008). La VFC es el resultado de las interacciones entre el Sistema Nervioso Autónomo (SNA, en adelante) (con su equilibrio simpático-vagal) y el Sistema Cardiovascular (Kleiger et al., 2005). El análisis adecuado de este parámetro permite el estudio de la actividad del SNA de manera no invasiva lo cual es especialmente importante en el ámbito de la medicina deportiva. La actividad del SNA se basa en un equilibrio entre el Sistema Nervioso Simpático (SNS, en adelante) y el Sistema Nervioso Parasimpático (SNP, en adelante). En un estado de reposo predomina la estimulación vagal (SNP), mientras que en estados de ansiedad, stress y ejercicio físico predomina la estimulación del SNS (Font et al., 2008). Existen diferentes métodos para analizar la VFC, que permiten obtener múltiples y variados parámetros.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, los métodos más utilizados son los que se basan en el dominio temporal, en el dominio frecuencial, las medidas geométricas de los intervalos RR y las variables no-lineales (Kleiger et al., 2005; Pumpila et al., 2002).

En la tabla 13 se muestran las principales variables de la variabilidad de la frecuencia cardíaca provenientes del dominio temporal.

Tabla 13. Principales variables provenientes del dominio temporal.

AvRR	Duración media de todos los intervalos de RR.
SDNN	Desviación estándar de todos los intervalos RR.
RMSSD	Raíz cuadrada de la media de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos.
SDSD	Desviación estándar de la diferencia entre intervalos RR consecutivos.
STD HR	Desviación estándar de la Frecuencia Cardíaca.
pNN50	Porcentaje de intervalos RR consecutivos que discrepan más de 50 ms entre sí.
pNN20	Porcentaje de intervalos RR consecutivos que discrepan más de 20 ms entre sí.
Ln (RMSSD)	Logaritmo neperiano de la RMSSD.

En la tabla 14 se muestran las principales variables no lineales de la variabilidad de la frecuencia cardíaca:

Tabla 14. Principales variables no lineales.

SD1	Desviación estándar de los intervalos ortogonales de los puntos RR _i , R _{ri} +a al diámetro transversal de la elipse.
SD2	Desviación estándar de los intervalos ortogonales de los puntos RR _i , R _{ri} +a al diámetro longitudinal de la elipse.
SS	<i>Stress Score</i> .
S/Ps	Ratio Simpático/Parasimpático.

En la tabla 15 se recogen las principales variables del dominio frecuencial de la variabilidad de la frecuencia cardiaca:

Tabla 15. Principales variables del dominio frecuencial.

Ln RMSSD	Logaritmo neperiano de la RMSSD.
VLF Peak	Pico de muy baja frecuencia.
LF Peak	Pico de baja frecuencia.
HF Peak	Pico de alta frecuencia.
VLF Power	Potencial total de muy bajas frecuencias.
LF Power	Potencial total de bajas frecuencias.
HF Power	Potencial total de altas frecuencias.
LF/HF	Ratio entre la baja frecuencia y la alta frecuencia.

Tomando los datos de FC, se han propuesto índices que utilizan esta información para mediante logaritmos, fórmulas matemáticas y otros datos conseguir propuestas más globales de cuantificación. En la literatura podemos encontrar el índice *Effindex*, TRIMP, o Edwards entre otros.

El índice *Effindex*, se define como el cociente entre la velocidad media registrada en m/min y la frecuencia cardiaca media relativa, representando la efectividad del jugador cuando corre con un estrés cardiovascular determinado (Barbero-Álvarez et al., 2012).

El método TRIMP, propuesto por Banister et al., (1991), es el resultado de la multiplicación de la FC por el tiempo de trabajo, determinado a partir de la siguiente fórmula:

$$TRIMP = (\Delta HR_{ratio})_{xe}^{bx(\Delta HR_{ratio})}$$

$$\Delta HR_{ratio} = (HR_{ex} - HR_{res}) - (HR_{mas} - HR_{rest})$$

1. INTRODUCCIÓN

En donde, D = Duración del tiempo de trabajo; HR_{rex} = FC_{med} durante el ejercicio; HR_{rest} = FC_{med} durante la recuperación; b (hombres = 1,92; mujeres = 1,67); factor e (hombres = 0,64; mujeres = 0,86).

Edwards, (1994) categoriza el esfuerzo de la FC en cinco zonas diferentes: zona 1 (50 - 60 %) FC_{max}; zona 2 (60-70 %) FC_{max}; zona 3 (70 – 80 %) FC_{max}; zona 4 (80 – 90 %) FC_{max}; zona 5 (90 – 100 %) FC_{max} y posteriormente realiza un sumatorio de todas ellas siguiente la siguiente ecuación:

Índice Edwards = (1 x duración en zona 1) + (2 x duración en zona 2) + (3 x duración en zona 3) + (4 x duración en zona 4) + (5 x duración en zona 5).

1.4.4. VARIABLES PSICOLÓGICAS

Uno de los indicadores psicológicos más populares para cuantificar la carga interna de entrenamiento y competición es la Percepción Subjetiva del Esfuerzo (PSE, en adelante) o del inglés *Rating of Perceived Exertion (RPE*, en adelante) con sus variantes (Moya, 2002; Noble & Robertson, 1996). La PSE se define como el esfuerzo percibido tras detectar e interpretar las sensaciones propias de nuestro cuerpo durante el ejercicio físico (Noble & Robertson, 1996).

La *RPE* es reconocida como un índice validado para cuantificar la intensidad del ejercicio, tal como se refleja en numerosos estudios de investigación (Bonitch et al., 2005; Day et al., 2004; Foster et al., 1995; Gómez-Díaz et al., 2013; Impellizzeri et al., 2004; Sinclair et al., 2009; Sweet et al., 2004; Weston et al., 2006), y que guarda una alta correlación con la frecuencia cardiaca (Bonitch et al., 2005; Little & Williams, 2007; Sinclair et al., 2009; Weston et al., 2006).

El instrumento utilizado para la valoración del nivel de actividad física a través de la percepción subjetiva del esfuerzo es la escala de Borg (1962). Se trata de un instrumento no invasivo, que no requiere de costes económicos y que su aplicación tanto en sesiones de entrenamiento como en partidos de competición oficial o no oficial es siempre posible (Alexiou & Coutts, 2008; Casamichana et al., 2012). Existen dos escalas principalmente, la escala que oscila entre 0 y 10 puntos (Borg, 1982) y, por otro lado, la escala compuesta por 15 puntos, que oscila entre el 6 y el 20 (Borg, 1962). Siendo ambas usadas indistintamente y válidas para la recogida de la *RPE* (Parra, 2016).

En la tabla 16 podemos ver la escala de 0 a 10 puntos:

Tabla 16. Escala de PSE, de 0 a 10 puntos (Borg, 1982).

0	
1	Extremadamente ligero
2	Ligero
3	Moderado
4	
5	Duro
6	
7	Muy duro
8	
9	
10	Extremadamente duro

1. INTRODUCCIÓN

En la tabla 17 podemos ver la escala de 6 a 20 puntos:

Tabla 17. Escala de PSE, de 6 a 20 puntos (Borg, 1962).

6		14	
7	muy muy ligero	15	duro
8		16	
9	muy ligero	17	muy duro
10		18	
11	bastante ligero	19	muy muy duro
12		20	
13	algo ligero		

Concretamente en fútbol, se ha encontrado una correlación ($r = 0,5$ a $0,91$) en las medidas del índice TRIMP y la escala de PSE (Impellizzeri et al., 2004). Del mismo modo, también en futbolistas se ha observado altos niveles de correlación entre la respuesta cardiaca de estos y los valores de PSE (Alexiou & Coutts, 2008; Gómez et al., 2012). Estos estudios permiten considerar la PSE como un método válido y fiable para la cuantificación y valoración de las demandas en fútbol (Parra, 2016).

OBJETIVOS

2



2. OBJETIVOS

A continuación, se detallan los objetivos generales y específicos para cada uno de los artículos que componen esta tesis por compendio de publicaciones, siendo los objetivos generales de la presente investigación los siguientes:

1. Analizar la validez y fiabilidad que reportan los diferentes índices y variables de carga neuromuscular, táctica y cinemática en fútbol semiprofesional.
2. Conocer las características y/o exigencias del entrenamiento y la competición en fútbol semiprofesional.
3. Analizar las diferencias derivadas del uso de dos tipos de tecnologías de radiofrecuencia para el control de la carga externa en fútbol semiprofesional.

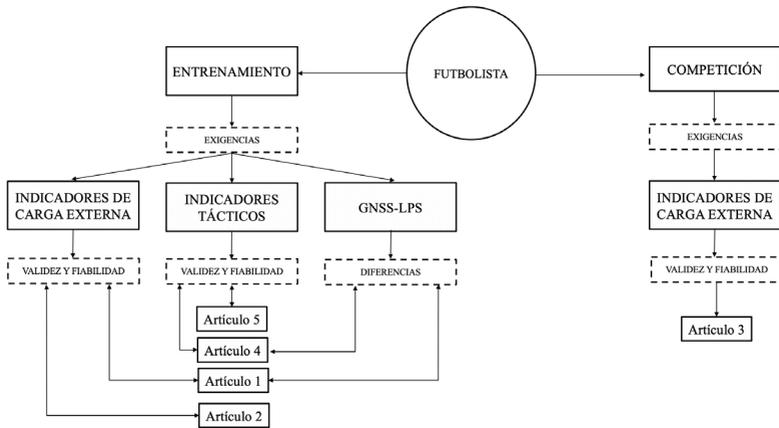


Figura 30. Esquema de los objetivos de la presente tesis por compendio de publicaciones.

Artículo 1. ANALYSIS OF PHYSICAL DEMANDS OF SMALL-SIDED GAMES IN SEMIPROFFESIONAL-LEVEL FOOTBALL IN FUNCTION OF THE OBJECTIVE AND THE TRACKING TECHNOLOGY UTILISED, los

objetivos generales son:

- Analizar la fiabilidad de la tecnología utilizada para la cuantificación de las demandas cinemáticas en fútbol.
- Describir las demandas cinemáticas de Juegos Reducidos en fútbol semiprofesional analizando la influencia de variables contextuales en el entrenamiento.
- Examinar las exigencias de las tareas de entrenamiento en fútbol semiprofesional en función de las demandas de la competición.

2. OBJETIVOS

Los objetivos específicos del **Artículo 1** son:

1. Analizar las variables cinemáticas distancia total recorrida y velocidad media en función de la tecnología empleada para la adquisición de los datos (*GNSS* vs *LPS*).
2. Describir y comparar las demandas cinemáticas de cuatro juegos reducidos en función del objetivo de cada uno de ellos.

Artículo 2. ACELT Y PLAYER LOAD: TWO VARIABLES TO QUANTIFY NEUROMUSCULAR LOAD, los objetivos generales son:

- Analizar la relación entre índices y variables de carga física y neuromuscular.
- Describir el comportamiento de la carga neuromuscular que soporta un jugador de fútbol semiprofesional.

Los objetivos específicos del **Artículo 2** son:

1. Describir el comportamiento de las variables de carga neuromuscular *Player Load* y *AcelT* en un test incremental en rampa en tapiz rodante.
2. Cuantificar la carga neuromuscular en diferentes puntos anatómicos (espalda, zona lumbar, rodilla y tobillo).

Artículo 3. PLAYER LOAD AND METABOLIC POWER DYNAMICS AS LOAD QUANTIFIERS IN FOOTBALL, los objetivos generales son:

- Examinar la eficacia de las variables e índices utilizados para la cuantificación de la carga neuromuscular y física en la competición oficial de fútbol semiprofesional.
- Describir las exigencias físicas y neuromusculares de la competición oficial en fútbol semiprofesional.
- Estudiar el perfil físico de jugadores de fútbol semiprofesional durante partidos oficiales.

Los objetivos específicos del **Artículo 3** son:

1. Describir el rendimiento del *Player Load* y el *Power Metabolic* durante la competición en fútbol y su relación con las variables situacionales:

1.1. Período de juego: (FH1) primera parte 1, 0-15 min; (FH2) primera parte 2, 15-30 min; (FH3) primera parte 3, 30-45 min; (SH1) segunda parte 1, 45-60 min; (SH2) segunda parte 2, 60-75 min; (SH3) segunda parte 3, 75-90 min.

1.2. Posición específica del jugador: lateral, central, centrocampista de banda, centrocampista y delantero.

1.3. Calendario.

1.4. Resultado: perdido, empatado o ganado.

1.5. Ubicación del partido: local o visitante.

2. OBJETIVOS

2. Analizar la relación entre ambos índices para la cuantificación de la carga externa.

Artículo 4. TACTICAL DEMANDS OF SMALL-SIDED GAMES IN FOOTBALL: INFLUENCE OF TRACKING TECHNOLOGY, los objetivos generales son:

- Examinar la fiabilidad de la tecnología utilizada para la cuantificación de las demandas tácticas en fútbol.
- Describir las demandas tácticas de Juegos Reducidos en fútbol semiprofesional analizando la influencia de variables contextuales en el entrenamiento.
- Definir las características de las tareas de entrenamiento en fútbol semiprofesional en función de su semejanza con la competición oficial.

Los objetivos específicos del **Artículo 4** son:

1. Analizar el comportamiento táctico a través de las variables área y centroide en función de:

1.1. Tecnología empleada: Sistema de Posicionamiento Global (*GPS*) y Ultra-Banda Ancha (*UWB*).

1.2. Fase de juego: ataque y defensa.

1.3. Objetivo del JRs: (i) mantener posesión, (ii) mantener posesión y progresar, (iii) mantener posesión, progresar y finalizar en múltiples porterías y (iv) mantener posesión, progresar y finalizar en situación

real de juego.

Artículo 5. SPATIAL PERCEPTION OF SEMI-PROFESSIONAL SOCCER PLAYERS IN SMALL GAMES: A CASE STUDY, los objetivos generales son:

- Describir las demandas tácticas de Juegos Reducidos en fútbol semiprofesional.
- Comprobar la validez de una variable táctica subjetiva para la cuantificación táctica en juegos reducidos en fútbol semiprofesional.
- Examinar la relación entre una variable táctica objetiva y una variable táctica subjetiva en juegos reducidos en fútbol semiprofesional.

Los objetivos específicos del **Artículo 5** son:

1. Cuantificar las exigencias tácticas objetivas mediante la variable área ocupada por el equipo, y subjetiva, mediante la percepción subjetiva del espacio ocupado.
2. Analizar la variabilidad inter-jugador en las variables área ocupada y percepción subjetiva del área ocupada.
3. Examinar las diferencias entre la fase ofensiva y defensiva en las variables área ocupada y percepción subjetiva del área ocupada.

RESULTADOS: COMPENDIO DE PUBLICACIONES

3



3. RESULTADOS: COMPENDIO DE PUBLICACIONES

A continuación se recogen los principales resultados de los trabajos científicos que forman parte de la presente tesis doctoral, estando estos previamente publicados o aceptados.

3.1. ARTÍCULO 1: ANALYSIS OF PHYSICAL DEMANDS OF SMALL-SIDED GAMES IN SEMIPROFESSIONAL-LEVEL FOOTBALL IN FUNCTION OF THE OBJECTIVE AND THE TRACKING TECHNOLOGY UTILISED

Autores: Pedro Reche-Soto¹, Donaldo Cardona-Nieto², Arturo Díaz-Suárez^{1,3}, Carlos David Gómez-Carmona⁴, José Pino-Ortega¹.

1 Departamento de Actividad Física y Deporte. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Campus de Excelencia Internacional "Mare Nostrum". Universidad de Murcia, San Javier, España.

2 Facultad de Educación Física, Recreación y Deporte. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Bello, Medellín, Colombia.

3 Grupo de Investigación Deporte, Gestión y Recreación (INGESPORT). Universidad de Murcia, España.

4 Grupo de Optimización del Entrenamiento y el Rendimiento Deportivo (GOERD). Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Extremadura, Cáceres, España.

Revista: E-Balonmano.com: Revista de Ciencias del Deporte (ISSN: 1885-7019).

Volumen/número/páginas/editorial: 15/1/23-36/ Ebm. Recide

País de publicación/año de publicación: Cáceres (Spain)/2019

Índices de calidad: Emerging Sources Citation Index (ESCI-WOS), SportDiscus, RESH: ANECA [18/22 criterios]; CNEAI [16/18 criterios]; Latindex [36/36 criterios].

Aportación del doctorando:

- Revisión bibliográfica (WOS, Google Scholar, PubMed).
- Participación en el diseño de la investigación.
- Recogida de datos.
- Redacción del manuscrito.

Reche-Soto, P., Cardona-Nieto, D., Díaz-Suárez, A., Gómez-Carmona, C. D., & Pino-Ortega, J. (2019). **Análisis de las demandas físicas durante juegos reducidos en fútbol semi-profesional en función del objetivo y la tecnología de seguimiento utilizada.** *E-balonmano. com: Revista de Ciencias del Deporte*, 15(1), 23-36.

Dirección url: http://www.e-balonmano.com/ojs/index.php/revista/article/view/419/pdf_1

3. RESULTADOS: COMPENDIO DE PUBLICACIONES

E-Balónmano.com: Revista de Ciencias del Deporte / Abrev: Ebm. Recide
E-Balónmano.com: Journal of Sport Science / Abrev: EBM. JSS
Universidad de Extremadura & Federación Extremeña de Balónmano, España / ISSN: 1885-7019 / Vol. 15, N° 1

ANÁLISIS DE LAS DEMANDAS FÍSICAS DURANTE JUEGOS REDUCIDOS EN FÚTBOL SEMI-PROFESIONAL EN FUNCIÓN DEL OBJETIVO Y LA TECNOLOGÍA DE SEGUIMIENTO UTILIZADA

Analysis of physical demands of small-sided games in semiprofessional-level football in function of the objective and the tracking technology utilised

Pedro Reche-Soto¹, Donaldo Cardona-Nieto², Arturo Díaz-Suárez^{1,3}, Carlos David Gómez-Carmona⁴, José Pino-Ortega¹

¹Departamento de Actividad Física y Deporte. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Campus de Excelencia Internacional "Mare Nostrum". Universidad de Murcia, San Javier, España.

²Facultad de Educación Física, Recreación y Deporte. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Bello, Medellín, Colombia.

³Grupo de Investigación Deporte, Gestión y Recreación (INGESPORT). Universidad de Murcia, España.

⁴Grupo de Optimización del Entrenamiento y el Rendimiento Deportivo (GOERD). Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Extremadura, Cáceres, España.

Correspondencia:

Pedro Reche
Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Murcia. Campus de Excelencia Internacional "Campus Mare Nostrum", España.
E-mail: pedrorechesoto@gmail.com

Recibido: 17/12/2017
Aceptado: 12/02/2019

Resumen

Objetivos: Los objetivos de la presente investigación fueron: (i) analizar el comportamiento de las variables distancia total y velocidad media en función de la tecnología de seguimiento utilizada (Global Navigation Satellite System, GNSS; y Ultra-Wide Band, UWB) y (ii), describir las exigencias físicas durante la realización de diferentes juegos reducidos (JR). **Método:** Dieciséis jugadores semiprofesionales de fútbol de nivel nacional (Edad: 23.6 ± 3.3 años; Peso: 78.1 ± 5.2 kg; Altura: 1.8 ± 0.1 m) realizaron 4 JRs con diferentes objetivos: (a) conservación de balón; (b) conservación y progresión; (c) conservación, progresión y finalización en múltiples metas sin portero y (d) conservación, progresión y finalización en una meta reglamentaria con portero. El registro de datos se realizó mediante el dispositivo inercial WIMU PRO™, registrando el posicionamiento mediante tecnología dual (GNSS y UWB). **Resultados:** Los principales resultados fueron: (1) una relación casi perfecta entre los valores obtenidos por ambas tecnologías (distancia total: $r^2=0.987$; velocidad media: $r^2=0.994$) y (2) diferencias significativas entre los 4 JRs en las variables distancia total, distancia relativa, distancia a alta intensidad, distancia a sprint, velocidad media y High Metabolic Load Distance/min ($p<0.01$; $F=34.33-4.57$; $d=2.13-0.80$). No se encontraron diferencias significativas en las variables aceleraciones/minuto y deceleraciones/minuto ($p=0.27-0.08$; $F=1.31-2.30$; $d=0.31-0.45$). **Conclusión:** Ambas tecnologías pueden ser utilizadas indistintamente para la cuantificación de las demandas físicas. En cuanto al objetivo de los JRs, este es determinante en las exigencias físicas que presentan. Por tanto, es muy importante analizar su efecto para una correcta aplicación de estas tareas específicas durante las sesiones de entrenamiento.

Palabras Clave: deportes colectivos; entrenamiento; rendimiento; carga externa; ultra-banda ancha; sistema de navegación global por satélite.

Abstract

Objectives: The objectives of the present research were: (i) to analyse the dynamics of total distance and mean velocity in relation to the utilised tracking technology (Global Navigation Satellite System, GNSS; and Ultra-Wide Band, UWB) and (ii) to describe the physical demands performed during the small-sided games (SSG). **Methods:** Sixteen semi-professional national-level football players (Age: 23.6 ± 3.3 years; Body mass: 78.1 ± 5.2 kg; Height: 1.8 ± 0.1 m) performed 4 SSG with different aims: (a) maintain the ball; (b) maintain and progress; (c) maintain, progress and ending in mini-goals and (d) maintain, progress and ending in a goal with a goalkeeper. To data acquisition, a WIMU PRO™ inertial device with dual tracking technology (GNSS and UWB) was used. **Results:** The main results were: (1) a nearly perfect correlation in the values obtained by both technologies (total distance: $r^2=0.987$; mean velocity: $r^2=0.994$) and (2) statistical differences between the 4 SSGs in total distance, relative distance, high intensity distance (>16 km/h), sprint distance (>21 km/h), mean velocity and High Metabolic Load Distance per min ($p<0.01$; $F=34.33-4.57$; $d=2.13-0.80$). No statistical differences were found in accelerations/min and decelerations/min ($p=0.27-0.08$; $F=1.31-2.30$; $d=0.31-0.45$). **Conclusions:** Both tracking technologies could be used to quantify the physical demands. In relation to the aim of small-sided games, this was determinant in the physical demands. Thus, the analysis of game-based tasks is very important to control their effects for a correct application during the training sessions.

Key Words: team sports; training; performance; external load; Ultra-Wide Band; Global Navigation Satellite System.

3.2. ARTÍCULO 2: ACELT AND PLAYER LOAD: TWO VARIABLES TO QUANTIFY NEUROMUSCULAR LOAD

Autores: Reche-Soto, P.¹; Cardona, D.²; Díaz, A.³; Gómez-Carmona, C.⁴ y Pino-Ortega, J.⁵

1 PhD student in Sports Science. Faculty of Sports Science and Physical Activity, University of Murcia (Spain).

2 Doctor of Sports Science. Professor at the Faculty of Physical Education, Recreation and Sports, Colombian Polytechnic Jaime Isaza Cadavid (Colombia).

3 Research Group Ingesport. Professor and Full Professor in the Faculty of Sports Science and Physical Activity, University of Murcia (Spain).

4 Training Optimization and Sports Performance Group (GOERD). PhD in Sports Science. Faculty of Sports Science and Physical Activity, University of Extremadura (Spain).

5 Department of Sport and Physical Activity. Doctor and Full Professor in the Faculty of Sports Science and Physical Activity, University of Murcia (Spain).

Revista: *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* (ISSN: 1577-0354).

Volumen/número/páginas/editorial: 20/77/167-183/ Rev.int.med.cienc.act. fis.deporte

País de publicación/año de publicación: Madrid (Spain)/2020

Índices de calidad: Journal Citation Reports (Sport Science) IF: 1.417 (69/85) Q4

Aportación del doctorando:

- Revisión bibliográfica (WOS, Google Scholar, PubMed).
- Participación en el diseño de la investigación.
- Recogida de datos.
- Redacción del manuscrito.

Reche-Soto, P., Cardona, D., Díaz, A., Gómez-Carmona, C., & Pino-Ortega, J. (2020). **ACELT Y PLAYER LOAD: DOS VARIABLES PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA NEUROMUSCULAR.** *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 20(77), 167-183.

Dirección url: <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista77/artacelt1110e.pdf>

3. RESULTADOS: COMPENDIO DE PUBLICACIONES

Rev.int.med.cienc.act.fis.deporte - vol. 20 - número 77 - ISSN: 1577-0354

Reche-Soto, P.; Cardona, D.; Díaz, A.; Gómez-Carmona, C.; Pino-Ortega, J. (2020) ACELT and PLAYER LOAD: Two Variables to Quantify Neuromuscular Load. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 20 (77) pp. 167-183
[Http://cddeporte.rediris.es/revista/revista77/artacelt1110.htm](http://cddeporte.rediris.es/revista/revista77/artacelt1110.htm)

DOI: 10.15366/rimcafd2020.77.011

ORIGINAL

ACELT AND PLAYER LOAD: TWO VARIABLES TO QUANTIFY NEUROMUSCULAR LOAD

ACELT Y PLAYER LOAD: DOS VARIABLES PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA NEUROMUSCULAR

Reche-Soto, P.¹; Cardona, D.²; Díaz, A.³; Gómez-Carmona, C.⁴ y Pino-Ortega, J.⁵

¹ PhD student in Sports Science. Faculty of Sports Science and Physical Activity, University of Murcia (Spain) pedrorchesoto@gmail.com

² Doctor of Sports Science. Professor at the Faculty of Physical Education, Recreation and Sports, Colombian Polytechnic Jaime Isaza Cadavid (Colombia) donaldpf@gmail.com

³ Research Group Ingesport. Professor and Full Professor in the Faculty of Sports Science and Physical Activity, University of Murcia (Spain) ardiaz@um.es

⁴ Training Optimization and Sports Performance Group (GOERD). PhD in Sports Science. Faculty of Sports Science and Physical Activity, University of Extremadura (Spain) cdgomezcarmona@unex.es

⁵ Department of Sport and Physical Activity. Doctor and Full Professor in the Faculty of Sports Science and Physical Activity, University of Murcia (Spain) josepinoortega@um.es

Spanish-English revision: Diana Schofield Smith, schofielddiane@gmail.com

FINANCING

The author Carlos D. Gómez Carmona is a beneficiary of a grant from the Ministry of Education, Culture and Sport (FPU17 / 00407). This investigation has not received funding from any public, private or non-profit agent.

CONFLICT OF INTERESTS

The last author of this article is an advisor in the area of Sports Science in the company responsible for the development of the inertial device used. To guarantee the objectivity of the results, this author has not contributed to the data analysis nor to the results section, but he has contributed significantly to other parts of the manuscript. The authors certify that this study has not been published or is in the process of being considered for publication in another journal, accepting the publication rules of the Journal.

Código UNESCO / UNESCO code: 5899 Otras especialidades pedagógicas (Educación Física y Deporte). / Other pedagogical specialties (Physical Education and Sport)

Clasificación Consejo de Europa / Council of Europe Classification: Otras (Rendimiento deportivo) / Other (sport performance).

3.3. ARTÍCULO 3: PLAYER LOAD AND METABOLIC POWER DYNAMICS AS LOAD QUANTIFIERS IN SOCCER

Autores: Pedro Reche-Soto¹, Donaldo Cardona-Nieto², Arturo Diaz-Suarez¹, Alejandro Bastida-Castillo¹, Carlos Gomez-Carmona³, Javier Garcia-Rubio³, Jose Pino-Ortega¹.

1 Department of Physical Activity and Sport, International Campus "Mare Nostrum", University of Murcia, Murcia, Spain.

2 Department of Physical Education, Recreation and Sports, Colombian Polytechnic University Jaime Isaza Cadavid, Medellin, Colombia.

3 Optimization of Training and Sport Performance Research Group (GOERD). Department of Didactics of Plastic, Music and Body Expression. Sport Science Faculty University of Extremadura, Caceres, Spain.

Revista: Journal of Human Kinetics

Volumen/páginas/editorial: 69/259-269/Journal of Human Kinetics

País de publicación/año de publicación: Katowice (Poland) /2019

Índices de calidad: Journal Citation Reports (Sport Science) IF: 1.664 (55/85) Q3

Aportación del doctorando:

- Revisión bibliográfica (WOS, Google Scholar, PubMed).
 - Participación en el diseño de la investigación.
 - Recogida de datos.
 - Redacción del manuscrito.
-

Reche-Soto, P., Cardona-Nieto, D., Diaz-Suarez, A., Bastida-Castillo, A., Gomez-Carmona, C., Garcia-Rubio, J., & Pino-Ortega, J. (2019). **Player Load and Metabolic Power Dynamics as Load Quantifiers in Soccer.** *Journal of Human Kinetics*, 69, 259. Doi: 10.2478/hukin-2018-0072

Dirección url: <http://www.johk.pl/files/10078-69-2019-v69-2019-25.pdf>



Player Load and Metabolic Power Dynamics as Load Quantifiers in Soccer

by

Pedro Reche-Soto¹, Donaldo Cardona-Nieto², Arturo Diaz-Suarez¹,
Alejandro Bastida-Castillo¹, Carlos Gomez-Carmona³, Javier Garcia-Rubio³,
Jose Pino-Ortega¹

There has recently been an increase in quantification and objective analysis of soccer performance due to improvements in technology using load indexes such as Player Load (PL) and Metabolic Power (MP). The objectives of this study were: (1) to describe the performance of PL and MP in competition according to the specific role, match-to-match variation, periods of play, game location and match status according to game periods, and (2) to analyze the relationship between both indexes. Twenty-one national-level soccer players were distributed in the following specific positional roles: external defenders (ED) (n = 4), central defenders (CD) (n = 4), midfielders (M) (n = 5), external midfielders (EM) (n = 4) and attackers (A) (n = 4). A total of 12 matches played by a Spanish Third Division team during the 2016/2017 season were analyzed. WIMU PRO^{DM} inertial devices (RealTrack System, Almeria, Spain) were used for recording the data. The main results were: (1) a performance reduction in both variables over the course of match time, (2) significant differences in both variables based on the specific position, (3) differences in physical demands during the season matches, (4) winning during a game period and the condition of being the visitor team provoked higher demands, and (5) a high correlation between both variables in soccer. In conclusion, different contextual variables influence the external load demands; both indexes are related so they could be used for external load quantification, and it is necessary to analyze physical demands of the competition for a specific and individualized load design in training sessions.

Key words: physical demands, external load, inertial devices, team sports, performance, contextual variables.

Introduction

Soccer is a team sport characterized by high-intensity intermittent efforts during matches (McMillan et al., 2005), where repetitive sprinting efforts, rapid accelerations or decelerations, quick changes of direction, jumps, kicks and tackles are performed continuously with incomplete recovery (Amason et al., 2004). These movements and skills are dynamic and unpredictable, with variable intensity and duration in competition (Bloomfield et al., 2007).

Due to the strong relationship with injury risk, the training load is one of the most important aspects for fitness coaches to consider (Eirale et al., 2013). Correct planning and monitoring of training demands is crucial to optimize performance of top-level players (Gómez-Díaz et al., 2013). The internal training load is the physical response to stress factors. Heart rate telemetry, oxygen consumption, rating of perceived exertion (RPE) or blood lactate are commonly used methods for assessing internal loads (Borresen

¹ - Department of Physical Activity and Sport, International Campus "Mare Nostrum", University of Murcia, Murcia, Spain.

² - Department of Physical Education, Recreation and Sports, Colombian Polytechnic University Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia.

³ - Optimization of Training and Sport Performance Research Group (GOERD), Department of Didactics of Plastic, Music and Body Expression, Sport Science Faculty University of Extremadura, Caceres, Spain.

3.4. ARTÍCULO 4: TACTICAL DEMANDS OF SMALL-SIDED GAMES IN FOOTBALL: INFLUENCE OF TRACKING TECHNOLOGY

Autores: Reche-Soto, P.¹; Cardona, D.²; Díaz, A.³; Gómez-Carmona, C.D.⁴; Pino-Ortega, J.³

1 PhD Student. Department of Physical Activity and Sport, University of Murcia, Murcia (Spain)

2 Science Doctor. Professor of the Department of Physical Education, Recreation and Sports, Colombian Polytechnic University Jaime Isaza Cadavid, Medellín (Colombia)

3 Science Doctor. Professor of the Department of Physical Activity and Sport, University of Murcia, Murcia (Spain)

4 PhD Student. Sport Science Faculty University of Extremadura, Cáceres (Spain)

Revista: *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* (ISSN: 1577-0354).

Volumen/número/páginas/editorial: 19/76/729-744/ Rev.int.med.cienc.act. fís.deporte

País de publicación/año de publicación: Madrid (Spain)/2019

Índices de calidad: Journal Citation Reports (Sport Science) IF: 1.417 (69/85) Q4

Aportación del doctorando:

- Revisión bibliográfica (WOS, Google Scholar, PubMed).
- Participación en el diseño de la investigación.
- Recogida de datos.
- Redacción del manuscrito.

Reche-Soto, P.; Cardona, D.; Díaz, A.; Gómez-Carmona, C.D.; Pino-Ortega, J. (2019). **Tactical Demands of Small-Sided Games in Football: Influence of Tracking Technology.** *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* vol. 19 (76) pp. 729-744. Doi: 10.15366/rimcafd2019.76.011

Dirección url: <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista76/artanalisis1071e.pdf>

3. RESULTADOS: COMPENDIO DE PUBLICACIONES

[Rev.int.med.cienc.act.fis.deporte](#) - vol. 19 - número 76 - ISSN: 1577-0354

Reche-Soto, P.; Cardona, D.; Díaz, A.; Gómez-Carmona, C.D.; Pino-Ortega, J. (2019). Tactical Demands of Small-Sided Games in Football: Influence of Tracking Technology. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* vol. 19 (76) pp. 729-744 [Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista76/artanalisis1071.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista76/artanalisis1071.htm)
DOI: 10.15366/rimcafd2019.76.011

ORIGINAL

TACTICAL DEMANDS OF SMALL-SIDED GAMES IN FOOTBALL: INFLUENCE OF TRACKING TECHNOLOGY

DEMANDAS TÁCTICAS DE JUEGOS REDUCIDOS EN FÚTBOL: INFLUENCIA DE LA TECNOLOGÍA UTILIZADA

Reche-Soto, P.¹; Cardona, D.²; Díaz, A.³; Gómez-Carmona, C.D.⁴; Pino-Ortega, J.³

¹ PhD Student. Department of Physical Activity and Sport, University of Murcia, Murcia (Spain) pedrorechesoto@gmail.com

² Science Doctor. Professor of the Department of Physical Education, Recreation and Sports, Colombian Polytechnic University Jaime Isaza Cadavid, Medellín (Colombia) donaldpf@gmail.com

³ Science Doctor. Professor of the Department of Physical Activity and Sport, University of Murcia, Murcia (Spain) ardiaz@um.es, josepinoortega@um.es

⁴ PhD Student. Sport Science Faculty University of Extremadura, Caceres (Spain) cdgomezcarmona@gmail.com

Spanish-English translators: Diana Schofield Smith, schofielddiane@gmail.com

FUNDING

No help has been received from the company responsible for the development and commercialisation of the technology used in this research in order to carry out this study. The author Carlos D. Gómez Carmona is a beneficiary of a grant from the Ministry of Education, Culture and Sports (FPU17/00407).

Código UNESCO / UNESCO code: 5899 Other pedagogical specialities (Physical Education and Sport) Otras especialidades pedagógicas (Educación Física y Deporte).

Clasificación Consejo de Europa / Council of Europe Classification: 17. OTRAS (Análisis del Juego) / OTHER (Game analysis)

ABSTRACT

This article analyses tactical behaviour in Small-Sided Games (SSGs) over the geometrical centre and surface area according to: (1) Tracking technology: Global Positioning System (GPS) and Ultra-Wide Band (UWB); (2) playing phase (attack vs. defence); and (3) Objective of the SSGs. Sixteen semi-professional football players participated in this research (Age: 23.6±3.3 years

3.5. ARTÍCULO 5: SPATIAL PERCEPTION OF SEMI-PROFESSIONAL SOCCER PLAYERS IN SMALL-SIDED GAMES: A CASE STUDY

Autores: Reche-Soto, P.¹; Rojas-Valverde, D.²; Gómez-Carmona, C.³; Los Arcos, A.⁴, A; Rico-González, Markel⁵; Pino-Ortega, J.⁶

1 PhD Student in Sports Science. Department of Physical Activity and Sport, University of Murcia, (Spain)

2 PhD Student in Sports Science. Professor at Centro de Investigación y Diagnóstico para la Salud y el Deporte, Movimiento Humano y Calidad de Vida, National University of Costa Rica, (Costa Rica) drojasv@hotmail.com

3 PhD Student in Sports Science. Faculty of Physical Activity and Sport, University of Extremadura, (Spain)

4 PhD in Sports Science. Professor at the Faculty of Physical Activity and Sport, University of the Basque Country, Vitoria-Gasteiz (Spain)

5 PhD in Sports Science. Professor at the Faculty of Physical Activity and Sport, University of the Basque Country, Vitoria-Gasteiz (Spain)

6 PhD in Sports Science. Professor in the Faculty of Physical Activity and Sport. University of Murcia (Spain)

Revista: Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte (ISSN: 1577-0354).

Volumen/número/paginas/editorial: 19/76/729-744/ Rev.int.med.cienc.act. fis.deporte

País de publicación/año de publicación: Madrid (Spain)/2019

Índices de calidad: Journal Citation Reports (Sport Science) IF: 1.417 (69/85) Q4

Aportación del doctorando:

- Revisión bibliográfica (WOS, Google Scholar, PubMed).
- Participación en el diseño de la investigación.
- Recogida de datos.
- Redacción del manuscrito.

Dirección url: <http://cdeporte.rediris.es/revista/inpress/artpercepcion1334e.pdf>

3. RESULTADOS: COMPENDIO DE PUBLICACIONES

Rev.int.med.cienc.act.fis.deporte - vol. X - número X - ISSN: 1577-0354

Reche-Soto, P.; Rojas-Valverde, D.; Gómez-Carmona, C.; Los Arcos, A.; Rico-González, M.; Pino-Ortega, J. (202x) Spatial Perception of Semi-Professional Soccer Players in Small Games: A Case of Study. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. X (X) pp. xx. <http://cdeporte.rediris.es/revista/>_____*

ORIGINAL

SPATIAL PERCEPTION OF SEMI-PROFESSIONAL SOCCER PLAYERS IN SMALL-SIDED GAMES: A CASE STUDY

PERCEPCIÓN ESPACIAL DE FUTBOLISTAS SEMIPROFESIONALES EN JUEGOS REDUCIDOS: UN ESTUDIO DE CASO

**Reche-Soto, P.¹; Rojas-Valverde, D.²; Gómez-Carmona, C.³; Los Arcos, A.⁴,
A; Rico-González, M.⁵; Pino-Ortega, J.⁶**

¹ PhD Student in Sports Science. Department of Physical Activity and Sport, University of Murcia, (Spain) pedrorchesoto@gmail.com

² PhD Student in Sports Science. Professor at Centro de Investigación y Diagnóstico para la Salud y el Deporte, Movimiento Humano y Calidad de Vida, National University of Costa Rica, (Costa Rica) drojasv@hotmail.com

³ PhD Student in Sports Science. Faculty of Physical Activity and Sport, University of Extremadura, (Spain) cdgomezcarmona@gmail.com

⁴ PhD in Sports Science. Professor at the Faculty of Physical Activity and Sport, University of the Basque Country, Vitoria-Gasteiz (Spain) asierlosarcos@gmail.com

⁵ PhD in Sports Science. Professor at the Faculty of Physical Activity and Sport, University of the Basque Country, Vitoria-Gasteiz (Spain) markeluniv@gmail.com

⁶ PhD in Sports Science. Professor in the Faculty of Physical Activity and Sport. University of Murcia (Spain) josepinoortega@um.es

Spanish-English revision: Diana Schofield Smith, schofielddiane@gmail.com

FUNDING

No help has been received to carry out this study from the company that develops and commercialises the technology used in this research. There is no commercial relationship with the manufacturers of the system, and this study is exempt from any commercial interest.

UNESCO code / Código UNESCO: 5899 Other pedagogical specialities / Otras especialidades pedagógicas (Physical Education and Sport).

Council of Europe Classification / Clasificación Consejo de Europa: 17 OTHER (Game analysis) / OTRAS (Análisis del Juego).

Recibido 4 de febrero de 2020 **Received** February 4, 2020

Aceptado 6 de agosto de 2020 **Accepted** August 6, 2020

DISCUSIÓN

4



4. DISCUSIÓN

Para poder conocer las características y/o exigencias del entrenamiento y la competición en fútbol semiprofesional se requiere del establecimiento de varias vías de trabajo y análisis. Por un lado, es necesario aclarar la validez y fiabilidad que reportan los diferentes índices y variables de carga neuromuscular, táctica y cinemática. Por otro lado, es necesario, del mismo modo, establecer las diferencias derivadas del uso de diferentes instrumentos de medida, la tecnología por radiofrecuencia *GNSS* y *LPS*. Es aquí, donde el diseño de una tesis por compendio de publicaciones cobra su mayor importancia, ya que se trata de una metodología de investigación diferente que permite alcanzar los objetivos establecidos en las partes para que con ello se obtenga el resultado final.

Artículo 1. ANALYSIS OF PHYSICAL DEMANDS OF SMALL-SIDED GAMES IN SEMIPROFESSIONAL-LEVEL FOOTBALL IN FUNCTION OF THE OBJECTIVE AND THE TRACKING TECHNOLOGY UTILISED.

En este artículo se ha analizado el comportamiento de las variables cinemáticas distancia total recorrida y velocidad media en función del tipo de tecnología empleada para la recogida de los datos (*GNSS* y *LPS*) y se han cuantificado las demandas cinemáticas de cuatro juegos reducidos con diferentes objetivos.

En cuanto al primer objetivo mencionado, se encuentran diferencias significativas entre ambas variables, distancia total y velocidad media, ($p < .001$), presentando los mayores valores encontrados en la tecnología *GNSS* con un tamaño de efecto muy bajo (Distancia: $d = 0.25 - 0.29$; Velocidad media: $d = 0.20 - 0.21$). Esto se debe en gran medida a los factores que lleva implícito el uso de este tipo de tecnología: (1) el *HDOP*, (Rico-González et al., 2019), (2) la infraestructura que se encuentra alrededor del terreno de juego, (3) el número de satélites conectados con cada dispositivo, (4) la frecuencia de muestreo del sensor y por último (5) las condiciones meteorológicas (Cummins et al., 2013).

Además, para poder comparar diferentes trabajos entre sí, debemos de analizar previamente el tipo de tecnología utilizada, incluso el modelo del dispositivo utilizado (Coutts & Duffield, 2010), debido a la propia configuración asociada a cada dispositivo (MacLeod et al., 2009). Cuando este estudio se publicó, solamente se encontró un trabajo que comparara en condiciones controladas ambas tecnologías (Bastida Castillo et al., 2018) cuyos resultados son similares a los obtenidos en este artículo. Estos resultados nos recomiendan usar el mismo

4. DISCUSIÓN

tipo de tecnología durante las sesiones de entrenamiento y los partidos de competición, debido a las diferencias encontradas en este estudio en cuanto al registro de la distancia total y la velocidad media, a pesar de encontrar un tamaño de efecto pequeño.

Cada vez son más los artículos científicos que tratan de validar el uso de los diferentes dispositivos *EPTS* a través de la comparación y análisis entre ellos. Buchheit et al., (2014) compararon el registro entre los tres tipos de tecnología *EPTS* que encontramos a día de hoy, *VT* (Prozone), *LPS* (Inmotio) y *GNSS* (GPSport), encontrando diferencias significativas en la distancia total, mostrando mayores resultados en la distancia a alta intensidad (<14 km/h) en *VT* y en las aceleraciones en *LPS*. Por otro lado, Pons et al., (2019), compararon un sistema de *VT* (Mediacoach) y un sistema dual *EPTS* (Wimu Pro), no mostrando diferencias significativas entre ambos sistemas en ninguna variable analizada. La intercambiabilidad de los diferentes sistemas es posible, analizando con cautela los datos registrados.

Dado que la tecnología *LPS* presenta una mayor precisión con respecto a la tecnología *GNSS* (Bastida Castillo et al., 2018; Reche-Soto et al., 2019; Rico-González et al., 2019), se han utilizado los datos de la señal de *UWB* para la descripción de las demandas físicas de los cuatro JRs analizados. Se encuentran diferencias significativas en todas las variables analizadas en función de la meta a conseguir, excepto en aceleraciones y desaceleraciones relativas al tiempo. Dellal et al., (2008) afirman que la modificación de las normas de los juegos reducidos es un factor importante que influye en las demandas de los ejercicios, pero aún son necesarios más estudios que aclaren esta cuestión (Casamichana & Castellano, 2015).

Normalmente en juegos reducidos las variables relacionadas con la aceleración y desaceleración suelen ser muy elevadas (Castellano & Casamichana, 2013). Sobre todo en aquellos en los que el área del jugador es aproximadamente de 50 m², al tratarse de un área muy reducida en comparación con la competición (300 m²) (Hill-Haas et al., 2011). Esta propuesta también es mantenida por los autores Gaudino et al., (2014) y Gamonales-Puerto et al., (2018) quienes indican que a medida que las dimensiones y el número de jugadores de la tarea se reducen, se incrementan las demandas en aceleraciones y desaceleraciones exponencialmente, siendo necesario llevar un especial cuidado en cuanto al diseño y planificación de este tipo de tareas para no provocar sobreentrenamiento y fatiga muscular en los jugadores (Casamichana & Castellano, 2015; Hill-Haas et al., 2011; Rampinini et al., 2007).

En este artículo se encontró que los juegos reducidos más exigentes son aquellos en los que no existen roles específicos y unas claras metas de progresión, ya que una menor organización y una incorrecta distribución del espacio provoca mayores demandas físicas para suplir la desincronización del equipo (Casamichana et al., 2012; Memmert et al., 2017; Miñano-Espin et al., 2017).

Teniendo en cuenta la variable sprint, el juego reducido en el que existía un portero y metas reglamentarias, presentó los mayores valores. Esto puede estar influido por la motivación del propio jugador ante un estímulo real de juego (Dellal et al., 2011; Mallo et al., 2015). Además, cuanto mayor es el parecido de la organización del juego reducido a la propia distribución de la competición, mayores son las exigencias específicas en acciones de alta intensidad (Gamonales-Puerto et al., 2018).

Artículo 2. ACELT Y PLAYER LOAD: TWO VARIABLES TO QUANTIFY NEUROMUSCULAR LOAD.

Los objetivos de este estudio fueron describir la dinámica de las variables de carga neuromuscular *Player Load* y *AcelT* y cuantificar las demandas de dichas variables en diferentes ubicaciones anatómicas a lo largo del espectro de velocidades durante un test incremental en rampa en tapiz rodante.

En cuanto al análisis descriptivo realizado, se observan los mayores valores de ambas variables en la rodilla ($PL = 8,01 \pm 2,76$; $AcelT = 2,70 \pm 0,50$) y el tobillo ($PL = 7,85 \pm 2,27$; $AcelT = 2,87 \pm 0,49$), aumentando a medida que aumenta la velocidad. Desde un enfoque de control de la carga individual del futbolista, encontramos que los valores pueden estar influidos por la posición del acelerómetro. En este sentido, encontramos el estudio de Barrett et al., (2014) quienes mostraron que los valores de ambas variables aumentan en ubicaciones más cercanas al punto de apoyo con el suelo a media que aumenta la velocidad del deportista. A pesar de esto, se acepta que el centro de masa (zona lumbar, L3) (McGregor et al., 2011) es la ubicación anatómica ideal para la colocación de estos dispositivos (Busa & McGregor, 2008; Halsey et al., 2011; McGregor et al., 2009), encontrando otros artículos que están en la misma línea que nuestra investigación (Boyd et al., 2013; Cormack et al., 2013; Scott et al., 2013).

Referente al análisis de regresión realizado entre el *Player Load* y *AcelT*, se obtiene que ambas variables presentan una correlación casi perfecta ($r > 0,931$), por lo que ambas variables son válidas para la cuantificación de las demandas neuromusculares. Respecto al *Player Load*, este ha sido aceptado como un indicador válido para determinar la carga externa soportada por el jugador en diferentes deportes como fútbol y fútbol australiano (Barreira et al., 2017; Barrett et al.,

2014; Boyd et al., 2013; Casamichana et al., 2013; Gustin et al., 2014; Scott et al., 2013). Estudios anteriores han mostrado relaciones significativas y fuertes entre las medidas de carga neuromuscular y el ratio de lesiones en jugadores de rugby (Gabbett & Ullah, 2012), esto nos sugiere que ambas variables se posicionan como indicadores del riesgo de lesión en deportes de equipo.

En cuanto a la duplicidad de índices y variables de carga, encontramos que el *Player Load* presenta alta relación con respecto al índice Edwards ($r = 0.70$) y la percepción subjetiva del esfuerzo (PSE) ($r = 0,70$) (Casamichana et al., 2013). Del mismo modo, Scott et al., (2013) encontró una fuerte relación entre el *Player Load* y el índice Edwards ($r = 0,80$). Los estudios muestran que el *Player Load* es un indicador válido y fiable para cuantificar las demandas en fútbol, siendo también aceptado su uso en competición ($CV = 1,9\%$) (Boyd et al., 2013).

Analizando la regresión lineal entre ambas variables (AcelT y *Player Load*) en cada uno de los futbolistas analizados en las diferentes ubicaciones anatómicas, se muestra una variabilidad intersujeto. Las mejores relaciones en las ubicaciones se encuentran en tobillo ($R^2 = 0,956$) y rodilla ($R^2 = 0,916$) tanto de forma individualizada como global, siendo las relaciones más altas a media que aumenta la velocidad de carrera. Los resultados obtenidos están en la línea del estudio de Nedergaard et al., (2017), en donde se encontró una baja correlación entre la aceleración del centro de masas (L3) y el resto de ubicaciones (tibia, rodilla y escápula), concluyendo que no es posible detectar la aceleración inercial del cuerpo al completo ubicando un solo acelerómetro o dispositivo en el centro de masas.

Si se pretende conseguir una mayor precisión, la ubicación idónea sería el tobillo/tibia debido a que es el primer punto articular que recibe de forma más directa las fuerzas

de impacto tras la pisada del deportista, estando dicho punto anatómico validado a través del uso de plataformas de fuerza (Raper et al., 2017), incluso con diferentes tipos de calzados (Sinclair et al., 2015).

Artículo 3. PLAYER LOAD AND METABOLIC POWER DYNAMICS AS LOAD QUANTIFIERS IN FOOTBALL.

Los objetivos del estudio fueron describir la relación entre el *Player Load* y el *Power Metabolic* como variables de carga externa durante la competición en fútbol y analizar la influencia de diferentes variables situacionales (periodo del partido, ubicación del partido, variabilidad entre partidos, marcador parcial y posición específica del jugador) en fútbol. Este artículo ha sido hasta la fecha, el primer artículo en analizar la relación entre el *Player Load* y el *Power Metabolic* en partidos oficiales.

Los principales resultados obtenidos en esta investigación resaltan que existen diferencias significativas con un tamaño de efecto de moderado a alto ($p < .001$; $d = 0.50 - 1.71$) en relación con el contexto de las variables contextualizadas analizadas. Además, se encontró una correlación muy fuerte entre ambos índices de carga externa ($r = 0.918$; $p < 0.001$).

Los análisis entre las mitades del juego mostraron diferencias significativas, con un tamaño de efecto de moderado a alto. Se encontraron mayores demandas en la primera mitad que en la segunda mitad de juego en *Player Load* ($p < .001$; $d = 1.31$) y *Power Metabolic* ($p < .001$; $d = 1.16$). Mohr et al., (2003) mantienen que esta pérdida del rendimiento que experimenta el jugador hacia el final del partido, así como en ciertos momentos puntuales del juego, puede ser causada por la caída de la temperatura corporal durante el tiempo de descanso. Además, el *Player Load* presenta una fuerte correlación con la distancia

total cubierta (Gabbett et al., 2008) y la distancia recorrida por minuto (Casamichana et al., 2013). Del mismo modo, está demostrado que la distancia total cubierta disminuye en la segunda mitad en comparación con la primera parte de juego (Di Salvo et al., 2010). Además, la comparación entre períodos de tiempo muestra mayores demandas en *First Half 1 (FH1)* (0-15 min) y en *Second Half 1 (SH1)* (45-60 min) en los dos índices de carga externa analizados, *Player Load* y *Power Metabolic*. Diferentes investigaciones también dividieron el tiempo de juego en períodos de 15 minutos, notando una reducción en el rendimiento en los dos últimos períodos en comparación con los dos primeros (Barrett et al., 2016; Carling et al., 2008; Carling & Dupont, 2011; Torreño et al., 2016).

Los resultados de esta investigación apuntan a la necesidad de diseñar entrenamientos para evitar la disminución del rendimiento durante los partidos oficiales. Además es evidente una tendencia decreciente de la dinámica de ambas variables (*Player Load* y *Power Metabolic*), estando el *Player Load* relacionado con la aceleración inercial del cuerpo humano en los tres planos, y el *Power Metabolic* relacionado con la velocidad y la distancia recorrida durante el partido. Ambas variables podrían ser útiles para detectar la fatiga en el desempeño de los jugadores de fútbol durante los partidos oficiales y las sesiones de entrenamiento.

Con respecto a la posición específica del jugador, se encontraron diferencias entre los delanteros y los defensores con un tamaño de efecto de moderado a alto (*Player Load*: $p < .001$; $d = 1.67$; *Power Metabolic*: $p < .001$; $d = 1.43$). Además, el *Player Load* y el *Power Metabolic* revelaron dinámicas similares en diferentes posiciones, siendo los centrocampistas los jugadores con las demandas más altas (*Player Load* = 21.3 ± 3.45 ; *Power Metabolic* = 6682.95 ± 786.23) y los defensas de banda las más bajas (*Player Load* = 17.7 ± 3.76 ; *Power Metabolic* = 5979.6 ± 567.79). Di Salvo et al., (2009)

4. DISCUSIÓN

encontraron diferencias ($p < .05$) entre los puestos específicos de campo en las variables *High Speed Running* y la distancia total a sprint, encontrando las demandas más bajas en los defensas centrales y las más altas en los centrocampistas de banda. También Dellal et al., (2011) encontraron mayores demandas en las variables *High Speed Running*, distancia total a sprint y distancia total en los centrocampistas-delanteros que en los defensas en las competiciones de primera división en Inglaterra y España. Además se encontraron diferencias en las variables *High Speed Running* y distancia total a sprint entre ambas ligas. En la presente investigación, se descubrió que los centrocampistas de banda y delanteros tienen el mismo *Power Metabolic*, pero diferente *Player Load*, siendo este mayor en los delanteros. Esto puede deberse al hecho de que a pesar de cubrir la misma distancia, los delanteros experimentan más contacto físico (*tacklings*, empujones y saltos) que los centrocampistas. Los resultados obtenidos son diferentes a los de Dalen et al., (2016) quienes encontraron mayores requerimientos en *Player Load* y distancia total en centrocampistas de banda que en delanteros, lo que podría explicarse por el nivel de competición de los jugadores analizados. Los principales resultados en la comparación entre puestos específicos, revela que cada posición está determinada por un perfil físico individualizado del jugador.

En relación al marcador parcial y la ubicación del partido, se encontraron diferencias estadísticas en las dos variables contextuales, el marcador parcial muestra un tamaño de efecto alto (*Player Load*: $p < .001$; $d = 1.71$; MP: $p < .001$; $d = 1.52$), y la ubicación del partido un tamaño de efecto de bajo a moderado (*Player Load*: $p < .001$; $d = 0.98$; *Power Metabolic*: $p < .001$; $d = 0.50$). La carga externa fue mayor cuando el equipo estaba ganando el partido y jugando fuera de casa, siendo estos resultados diferentes a los de otros estudios (Castellano et al., 2011; Folgado et al., 2015). En consecuencia, el marcador parcial

del partido podría influir en las demandas de carga externa de partidos oficiales y en los juegos reducidos utilizados durante el entrenamiento, pero el efecto de la ubicación del partido (local o visitante) no está muy claro, aunque la presente investigación si encontró diferencias significativas. Los equipos de élite pueden mantener su estilo de juego independientemente de la ubicación del partido, el nivel del oponente y el estado del partido y con ello las demandas de carga externa se mantienen estables, no presentando variaciones en función de las variables contextuales (Miñano-Espin et al., 2017). Por el contrario, el equipo analizado en esta investigación (3ª División de España) mostró un comportamiento irregular (influenciado por los equipos contrarios), y presentando diferencias a los equipos de nivel de élite debido a las mayores demandas de carga externa cuando estaba ganando para no perder su ventaja. Estos datos nos llevan a un análisis específico del equipo, teniendo que adaptar su estudio al contexto para intentar sacar una ventaja competitiva.

En cuanto al análisis realizado de la variabilidad entre partidos, existen diferencias significativas entre ambas variables, presentando un tamaño de efecto moderado (*Player Load*: $p < .001$; $d = 0.88$; *Power Metabolic*: $p < .001$; $d = 0.97$), siendo irregular el rendimiento de ambas variables durante todo el periodo analizado (1º al 12º partido). Estos resultados podrían estar influenciados por diferentes variables contextuales: (i) el marcador parcial del partido y la ubicación del mismo, analizados en la presente investigación y en otras investigaciones (Castellano et al., 2011; Sampaio et al., 2014); (ii) el estilo de juego adoptado por el entrenador para enfrentar el partido, así como el nivel técnico-táctico de los jugadores elegidos (Bradley et al., 2013); (iii) el nivel del oponente (Lago-Peñas & Lago-Ballesteros, 2011), (iv) el tamaño del terreno de juego que puede afectar a las demandas físicas, fisiológicas, perceptivas y motoras de los jugadores (Casamichana et al.,

4. DISCUSIÓN

2013; Kelly & Drust, 2009) (v) y la superficie de juego (Brito et al., 2012). Además, para el análisis de la variabilidad entre partido es necesario analizar la congestión de partidos. En este sentido, Folgado et al., (2015) analizaron el efecto de uno o dos partidos por semana y encontraron un efecto negativo en la carga externa y el rendimiento táctico en el equipo que jugaba dos partidos por semana. Por el contrario, Dupont et al., (2010) no encontraron una disminución del rendimiento en las variables de carga externa, pero encontraron un aumento en el riesgo de lesión.

Finalmente, cuando se realizó el análisis de correlación entre el *Player Load* y el *Power Metabolic*, ambas variables correlacionaron significativamente ($r > 0.9$). Diferentes investigadores han analizado la fiabilidad y validez de la variable *Player Load* en condiciones de laboratorio y campo, encontrando excelentes resultados (Barrett et al., 2016; Boyd et al., 2011; Casamichana et al., 2013). Por otro lado, el *Power Metabolic* ha sido criticado en otras investigaciones debido a la subestimación del gasto energético (Buchheit et al., 2015). Sin embargo, si ambas variables presentan una dinámica similar, esto nos indica que ambas podrían usarse para la cuantificación de carga externa en fútbol.

Artículo 4. TACTICAL DEMANDS OF SMALL-SIDED GAMES IN FOOTBALL: INFLUENCE OF TRACKING TECHNOLOGY.

Los objetivos de este estudio han sido analizar el comportamiento táctico a través de las variables área ocupada por el equipo y centroide en función de la tecnología utilizada (*GNSS vs LPS*), la fase de juego (ataque vs defensa) y el objetivo de cuatro juegos reducidos (mantener la posesión,

mantener la posesión y progresar, mantener la posesión, progresar y finalizar en múltiples porterías y mantener la posesión, progresar y finalizar en situación real de juego con un portero).

En cuanto al primer objetivo, este estudio encontró diferencias significativas entre *GNSS* y *LPS* en la variable área, tanto en defensa ($p < 0.01$) como en ataque ($p < 0.01$), pero no en la variable centroide. Estos resultados son interesantes, ya que el centroide se define como la distancia del centro geométrico de un equipo en el tiempo, es decir, expresa la distancia (m) de ese centro de un momento a otro (cada 2 segundos en esta investigación), y por lo tanto, una distancia lineal. En este sentido, estos hallazgos son similares a los obtenidos por Bastida-Castillo et al., (2018) y Reche-Soto, et al., (2019c) en los que se encontró que no existen diferencias significativas de precisión a la hora de medir la distancia entre la tecnología *GNSS* y *LPS*. A pesar de esto, y dada las limitaciones que presenta la tecnología *GNSS* (Aughey, 2011a; Larsson, 2003; Scott et al., 2015), al realizar un análisis de variables que se obtengan a partir de la posición del jugador (coordenadas x e y), es necesario una comparación de la precisión entre ambos sistemas para su uso, ya que es necesaria una posición muy exacta del jugador en cada instante.

Referente a las dos fases de juego analizadas, ataque y defensa, se encontraron diferencias significativas en ambas variables tácticas analizadas ($p < 0.01$) con ambas tecnologías, presentando la fase de ataque la mayor área y la fase de defensa el mayor centroide. Existe una relación entre la dinámica de las variables área y centroide, es decir, el equipo que se encuentra en fase de defensa realiza una adaptación a la disposición del equipo que se encuentra en fase de ataque, presentando la mayor relación en el juego reducido cuyo objetivo es marcar gol en una portería reglamentaria. Estos datos están en relación con los publicados por Bartlett et al., (2012) donde analizaron 5

4. DISCUSIÓN

juegos reducidos y encontraron una relación entre el centroide del equipo atacante y el equipo defensor con una correlación en el eje x de $r = 0.93$ y en el eje y de $r = 0.76$. Además, en cuanto a la variable área, un mayor tamaño en la fase de ataque corresponde a un aumento del tamaño en la defensa, al contrario de los resultados obtenidos por Moura et al., (2013). Durante el análisis, se observan momentos inestables que son el resultado de perturbaciones (pérdida de posesión o un mal pase entre otras) que rompen la dinámica. Por tanto, para conseguir el éxito en ataque se buscará romper con ese flujo ataque-defensa, mediante cambios de orientación, aperturas a banda, etc., con el fin de encontrar espacios en defensa.

Según Dellal et al., (2008), a pesar de que la modificación de ciertas reglas es un factor importante que puede influir en las demandas de las tareas, un reducido número de estudios han examinado de forma consistente esta cuestión (Casamichana & Castellano, 2015). En este trabajo se ha analizado como la modificación del objetivo principal de la tarea influye considerablemente en el comportamiento táctico durante las tareas. Así, encontramos diferencias estadísticamente significativas entre todos los juegos reducidos ($p < 0.01$). En esta línea, un trabajo previo realizado por Frencken et al., (2011) analiza el comportamiento táctico de tres repeticiones de un juego reducido (juego reducido número 4 de la presente investigación) encontrando que no existe una variación en la relación de las variables área y centroide entre defensa y ataque debido a la no modificación del objetivo.

En cuanto a los juegos reducidos según ocupación de espacios de menor a mayor en ataque han sido 2-3-1-4, mientras que en defensa 2-1-3-4. En el juego reducido número 4 se produce la mayor ocupación espacial tanto en defensa como en ataque y el menor valor del centroide, lo cual quiere decir que la inclusión de una portería reglamentada y un portero nos acerca a las exigencias tácticas del juego real (Folgado

et al., 2014). Otro hecho influyente es la autoasignación de puestos específicos orientados a la portería para garantizar una ocupación equilibrada del campo de juego (Silva et al., 2014b).

Otras variables contextuales utilizadas para evaluar el rendimiento táctico de la variable centroide han sido la influencia del resultado parcial y la situación de juego (inferioridad vs superioridad), encontrando diferencias significativas (Sampaio et al., 2014). Del mismo modo, el nivel de los jugadores también ha sido analizado, encontrando una mayor sincronización en los equipos profesionales respecto a los semiprofesionales (Folgado et al., 2014).

Finalmente, el objetivo de las tareas, el resultado parcial, la situación de juego y el nivel de los jugadores son aspectos a tener en cuenta a la hora de la planificación de las situaciones modificadas de juego reducido durante las sesiones de entrenamiento por su influencia directa en las demandas tácticas.

Artículo 5. SPATIAL PERCEPTION OF SEMI-PROFESSIONAL SOCCER PLAYERS IN SMALL-SIDED GAMES: A CASE STUDY.

Los objetivos de la presente investigación han sido: (i) describir las exigencias tácticas objetivas (área ocupada por el equipo, AOE) y subjetivas (percepción subjetiva del espacio ocupado, PSEO), (ii) identificar la variabilidad inter-sujeto y explorar la relación entre AOE y PSEO durante la realización de juegos reducidos, y (iii) comparar las exigencias entre fase ofensiva y defensiva de este tipo de actividades de formación deportiva.

Resulta un desafío comprender los movimientos de un

4. DISCUSIÓN

jugador, un grupo de jugadores o de todo un equipo en relación con sus rivales en función de la información proporcionada (Stein et al., 2017). En cuanto al primer objetivo de esta investigación, encontramos alta variabilidad en las correlaciones inter-sujeto de la percepción espacial subjetiva tanto en fase de ataque ($r = -0.76 - 0.94$) como en fase defensiva ($r = -0.78 - 1.00$). Esto se debe al nivel de experiencia de los jugadores y al constante ajuste de su posición que los jugadores realizan en el campo como resultado de su proceso de toma de decisiones (Sampaio & Maçãs, 2012). Pero cabe destacar que el conocimiento táctico no es inherente a los jugadores, es desarrollado y aprendido (González-Villora et al., 2015). El análisis de cómo los jugadores se posicionan en relación con el terreno de juego y otros jugadores nos puede proporcionar información clave sobre diferentes estilos de juego (Lapresa et al., 2018).

Hay una necesidad constante de que los equipos jueguen en defensa y en ataque, por lo que deben tener movilidad en la fase ofensiva y estén equilibrados en la defensiva (Wade, 1998). Referente al segundo objetivo, existen diferencias significativas en la variable área ($p < 0.001$; $d = 2.72$ efecto muy grande) y percepción espacial ($p < 0.001$; $d = 1.23$ efecto grande) entre la fase de ataque y de defensa. La dinámica del área en ataque y la dinámica del área en defensa están relacionadas ($r = 0.62$). Esto significa que existe una adaptación de la disposición táctica de la defensa en función de la disposición táctica del ataque (Reche-Soto et al., 2019). En la literatura encontramos estudios como el realizado por Bartlett et al., (2012) en el que se encontró una relación entre el centroide del equipo atacante y el equipo defensor con una correlación en el eje x de $r = 0.93$ y en el eje y de $r = 0.76$ en 5 JRs. En esta misma investigación, también se encontró que un aumento del área del equipo en fase de ataque, provocaba un aumento del área del equipo defensor. Por el contrario, encontramos resultados opuestos en otros estudios como el de Arruda et al., (2012) y

el realizado por Frencken et al. (2011), en los que se observan correlaciones cercanas a 0 entre las dos fases ($r = 0.03$; $r = 0.07$; $r = -0.01$). Por lo que los resultados pueden depender del tipo de JR propuesto (Frencken et al., 2011). Por otro lado, la propia práctica del fútbol conlleva momentos inestables provocados por acciones técnico-tácticas que rompen con la dinámica. Por lo que si queremos obtener éxito en ataque deberemos provocar esa inestabilidad para encontrar espacios y conseguir el objetivo.

Centrándonos en el tercer objetivo del presente estudio, existe una alta correlación entre ambos indicadores ($r = 0.92$). Es evidente que el espacio es uno de los indicadores más utilizados en el análisis del fútbol (Arana et al., 2016; González-Víllora et al., 2015) pero para conocimiento de estos autores no se ha encontrado ningún estudio que relacione indicadores objetivos con la percepción subjetiva del espacio, a pesar de que la evaluación del comportamiento táctico observable por los jugadores ha sido un tema de estudio de gran interés en los últimos años (del Villar & González, 2014; González-Víllora et al., 2015; Otero-Saborido & González-Jurado, 2015). En nuestra opinión, estos hallazgos tienen una gran aplicación práctica en el fútbol formativo, porque en la mayoría de ocasiones, no se tiene acceso a dispositivos tecnológicos que permiten cuantificar aspectos tácticos, por lo que este indicador puede ser una gran herramienta para la cuantificación de las demandas tácticas. Estos métodos y resultados pueden brindar apoyo a estudios adicionales, particularmente los que recojan requisitos fisiológicos (Dyson et al., 2004).

CONCLUSIONES

5



5. CONCLUSIONES

Seguidamente, se presentan las principales conclusiones obtenidas para cada uno de los artículos y sus correspondientes objetivos que componen la presente tesis doctoral.

Artículo 1. ANALYSIS OF PHYSICAL DEMANDS OF SMALL-SIDED GAMES IN SEMIPROFESSIONAL-LEVEL FOOTBALL IN FUNCTION OF THE OBJECTIVE AND THE TRACKING TECHNOLOGY UTILISED.

Objetivos Generales de la Tesis Doctoral.

2. Conocer las características y/o exigencias del entrenamiento y la competición en fútbol semiprofesional.

3. Analizar las diferencias derivadas del uso de dos tipos de tecnologías de radiofrecuencia para el control de la carga externa en fútbol semiprofesional.

Objetivos Generales del Artículo 1.

- Analizar la fiabilidad de la tecnología utilizada para la cuantificación de las demandas cinemáticas en fútbol.
- Describir las demandas cinemáticas de Juegos Reducidos en fútbol semiprofesional analizando la influencia de variables contextuales en el entrenamiento.
- Examinar las exigencias de las tareas de entrenamiento en fútbol semiprofesional en función de las demandas de la competición.

Objetivos Específicos del Artículo 1.

1. Analizar las variables cinemáticas distancia total recorrida y velocidad media en función de la tecnología empleada para la adquisición de los datos (*GNSS* vs *LPS*).

2. Describir y comparar las demandas cinemáticas de cuatro juegos reducidos en función del objetivo de cada uno de ellos.

Para la determinación de las demandas físicas en fútbol, ambas tecnologías pueden ser utilizadas, pero se recomienda que siempre se utilice la misma, al encontrar en este estudio diferencias entre las variables distancia total y velocidad media provenientes de *GNSS* y *LPS*.

Los requerimientos físicos de juegos reducidos están directamente relacionados con el objetivo del mismo. Lo que implica que a la hora de planificar y diseñar los entrenamientos

sea necesario para conseguir un rendimiento óptimo determinar dicha meta.

Artículo 2. ACELT Y PLAYER LOAD: TWO VARIABLES TO QUANTIFY NEUROMUSCULAR LOAD.

Objetivo General de la Tesis Doctoral.

1. Analizar la validez y fiabilidad que reportan los diferentes índices y variables de carga neuromuscular, táctica y cinemática en fútbol semiprofesional.

Objetivos Generales del Artículo 2.

- Analizar la relación entre índices y variables de carga física y neuromuscular.
- Describir el comportamiento de la carga neuromuscular que soporta un jugador de fútbol semiprofesional.

Objetivos específicos del Artículo 2.

1. Describir el comportamiento de las variables de carga neuromuscular *Player Load* y *AcelT* en un test incremental en rampa en tapiz rodante.

2. Cuantificar la carga neuromuscular en diferentes puntos anatómicos (espalda, zona lumbar, rodilla y tobillo).

Tanto el *Player Load* como el *AcelT* son dos índices de carga válidos para la determinación de las exigencias neuromusculares, por lo que su uso puede realizarse de manera indistinta, tanto en entrenamiento como en competición.

Dado que el miembro superior soporta menos carga

neuromuscular que el miembro inferior y existe gran variabilidad intersujeto, resulta necesario evaluar los patrones de carrera de los futbolistas, para establecer un ajuste ideal de cargas de entrenamiento y establecer los medios de recuperación adaptados a cada jugador.

Artículo 3. PLAYER LOAD AND METABOLIC POWER DYNAMICS AS LOAD QUANTIFIERS IN FOOTBALL.

Objetivos Generales de la Tesis Doctoral.

1. Analizar la validez y fiabilidad que reportan los diferentes índices y variables de carga neuromuscular, táctica y cinemática en fútbol semiprofesional.
2. Conocer las características y/o exigencias del entrenamiento y la competición en fútbol semiprofesional.

Objetivos Generales del Artículo 3.

- Examinar la eficacia de las variables e índices utilizados para la cuantificación de la carga neuromuscular y física en la competición oficial de fútbol semiprofesional.
- Describir las exigencias físicas y neuromusculares de la competición oficial en fútbol semiprofesional.
- Estudiar el perfil físico de jugadores de fútbol semiprofesional durante partidos oficiales.

Objetivos específicos del Artículo 3.

1. Describir el rendimiento del Player Load y el Power Metabolic durante la competición en fútbol y su relación con las

5. CONCLUSIONES

variables situacionales:

1.1. Período de juego: (FH1) primera parte 1, 0-15 min; (FH2) primera parte 2, 15-30 min; (FH3) primera parte 3, 30-45 min; (SH1) segunda parte 1, 45-60 min; (SH2) segunda parte 2, 60-75 min; (SH3) segunda parte 3, 75-90 min.

1.2. Posición específica del jugador: lateral, central, centrocampista de banda, centrocampista y delantero.

1.3. Calendario.

1.4. Resultado: perdido, empatado o ganado.

1.5. Ubicación del partido: local o visitante.

2. Analizar la relación entre ambos índices para la cuantificación de la carga externa.

Los jugadores de fútbol experimentan una disminución en el rendimiento durante el transcurso de los minutos de juego. Las variables contextuales como la distribución de los partidos en el calendario, la localización del partido (local o visitante), el resultado parcial del partido y la posición específica del jugador modifican la carga externa a la que los jugadores son sometidos. Es necesario diseñar sesiones de entrenamiento teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- a. Perfil individualizado de cada puesto específico.
- b. Cargas de entrenamiento que consigan una menor pérdida de rendimiento durante los partidos y durante toda la temporada.
- c. Entrenamiento físico, técnico, táctico y psicológico en relación con la ubicación del partido, el resultado parcial, el sistema de juego y el nivel del oponente.

Se ha encontrado una fuerte relación entre el *Player Load* y el *Power Metabolic*. La dinámica similar en ambos indicadores de carga ofrece la posibilidad de usarlos para la cuantificación de carga externa, siendo el *Player Load* obtenido en los tres ejes de movimiento a partir de la acelerometría y el *Power Metabolic* a través de la velocidad y la distancia recorrida registradas a través de los sensores de tracking.

Artículo 4. TACTICAL DEMANDS OF SMALL-SIDED GAMES IN FOOTBALL: INFLUENCE OF TRACKING TECHNOLOGY.

Objetivos Generales de la Tesis Doctoral.

2. Conocer las características y/o exigencias del entrenamiento y la competición en fútbol semiprofesional.
3. Analizar las diferencias derivadas del uso de dos tipos de tecnologías de radiofrecuencia para el control de la carga externa en fútbol semiprofesional.

Objetivos Generales del Artículo 4.

- Examinar la fiabilidad de la tecnología utilizada para la cuantificación de las demandas tácticas en fútbol.
- Describir las demandas tácticas de Juegos Reducidos en fútbol semiprofesional analizando la influencia de variables contextuales en el entrenamiento.
- Definir las características de las tareas de entrenamiento en fútbol semiprofesional en función de su semejanza con la competición oficial.

Objetivos Específicos del Artículo 4.

1. Analizar el comportamiento táctico a través de las variables área y centroide en función de:

1.1. Tecnología empleada: Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y Ultra-Banda Ancha (UWB).

1.2. Fase de juego: ataque y defensa.

1.3. Objetivo del JRs: (i) mantener posesión, (ii) mantener posesión y progresar, (iii) mantener posesión, progresar y finalizar en múltiples porterías y iv mantener posesión, progresar y finalizar en situación real de juego.

Al encontrar diferencias entre ambas tecnologías (*GNSS* y *LPS*) se indica que las variables tácticas obtenidas a partir de diferentes tecnologías no pueden ser comparadas entre sí. Por lo que se recomienda utilizar siempre la misma tecnología para el análisis táctico.

Tanto la fase de juego (ataque, defensa) como el objetivo del juego reducido, tienen una influencia directa en las variables tácticas área y centroide. Los principales resultados muestran que el juego reducido en el que el objetivo es marcar gol en una portería reglamentaría presenta la mayor relación con el juego real.

Artículo 5. SPATIAL PERCEPTION OF SEMI-PROFESSIONAL SOCCER PLAYERS IN SMALL-SIDED GAMES.

Objetivos Generales de la Tesis Doctoral.

1. Analizar la validez y fiabilidad que reportan los diferentes índices y variables de carga neuromuscular, táctica y cinemática en fútbol semiprofesional.

2. Conocer las características y/o exigencias del entrenamiento y la competición en fútbol semiprofesional.

Objetivos Generales del Artículo 5.

- Describir las demandas tácticas de Juegos Reducidos en fútbol semiprofesional.
- Comprobar la validez de una variable táctica subjetiva para la cuantificación táctica en juegos reducidos en fútbol semiprofesional.
- Examinar la relación entre una variable táctica objetiva y una variable táctica subjetiva en juegos reducidos en fútbol semiprofesional.

Objetivos Específicos del Artículo 5.

1. Cuantificar las exigencias tácticas objetivas mediante la variable área ocupada por el equipo, y subjetiva, mediante la percepción subjetiva del espacio ocupado.

2. Analizar la variabilidad inter-jugador en las variables área ocupada y percepción subjetiva del área ocupada.

3. Examinar las diferencias entre la fase ofensiva y

5. CONCLUSIONES

defensiva en las variables área ocupada y percepción subjetiva del área ocupada

Los resultados reportados permiten identificar diferencias claras en la AOE en las fases de ataque y defensa durante los juegos reducidos. Adicionalmente en cuanto a la PSEO, existen variaciones considerables en la percepción intersujeto pero se mantiene una alta correlación entre la AOE y la PSEO reportadas. Esto permite aseverar que en esta investigación los resultados obtenidos sugieren que la PSEO es una variable válida para cuantificar las demandas tácticas de JRs, debiendo de tener presente las características específicas de cada jugador.

La fase de juego, así como el formato de JR tienen una influencia directa en las variables de análisis táctico evaluadas.

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN



6



6. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Al tratarse de una tesis por compendio de publicaciones, las futuras líneas de investigación están orientadas en diferentes direcciones. Para ello, a continuación, se detallan las futuras líneas de investigación para cada uno de los artículos.

Artículo 1. ANALYSIS OF PHYSICAL DEMANDS OF SMALL-SIDED GAMES IN SEMIPROFESSIONAL-LEVEL FOOTBALL IN FUNCTION OF THE OBJECTIVE AND THE TRACKING TECHNOLOGY UTILISED.

Resulta necesario realizar una contextualización de los resultados obtenidos, por ello, las futuras líneas de investigación deben ir encaminadas hacia la comparación de los hallazgos encontrados en esta investigación con las demandas de la

propia competición.

Los juegos reducidos han sido y son un elemento de estudio muy popular en fútbol tanto amateur como profesional, pero dado que dependen de numerosas variables contextuales y que pequeñas modificaciones en su desarrollo pueden repercutir enormemente en el desempeño del mismo, aún hay que seguir profundizando en este estudio.

Artículo 2. ACELT Y PLAYER LOAD: TWO VARIABLES TO QUANTIFY NEUROMUSCULAR LOAD.

Una vez determinados los indicadores de carga neuromuscular y su comportamiento en un test en un ambiente controlado, resulta necesario analizar el comportamiento de estos indicadores en ambientes abiertos, tanto competición como entrenamiento.

Una línea de trabajo muy interesante en este sentido sería el análisis de estos indicadores y su relación con el índice lesional. En especial, el trabajo en los patrones de carrera puede modificar la absorción de fuerzas y la optimización de los desplazamientos en fútbol.

Artículo 3. PLAYER LOAD AND METABOLIC POWER DYNAMICS AS LOAD QUANTIFIERS IN FOOTBALL.

De este artículo se desprenden numerosas líneas de investigación enfocadas en la aclaración de la validez y la fiabilidad que reportan los diferentes indicadores, variables e índices para el control de la carga neuromuscular, cinemática y táctica.

6. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

El objetivo de estas líneas de investigación sería optimizar el proceso de monitorización del futbolista, seleccionando aquellas métricas que realmente describen la competición y el entrenamiento.

Artículo 4. TACTICAL DEMANDS OF SMALL-SIDED GAMES IN FOOTBALL: INFLUENCE OF TRACKING TECHNOLOGY.

Una vez analizadas dos tipos de tecnología por radiofrecuencia para el análisis de las demandas tácticas en entrenamiento, los siguientes pasos serían analizar las demandas tácticas en competición y poder replicar los principales resultados obtenidos en la presente investigación.

No cabe duda de la importancia del análisis táctico a partir de los datos obtenidos del posicionamiento del jugador, y aunque su uso y estudio no es tan usado frecuentemente como el análisis físico o cinemático, en un futuro próximo se va a convertir en un línea de estudio muy popular en el fútbol de alto rendimiento.

Artículo 5. SPATIAL PERCEPTION OF SEMI-PROFESSIONAL SOCCER PLAYERS IN SMALL-SIDED GAMES: A CASE STUDY.

La muestra en esta investigación ha sido reducida, doce jugadores de un equipo de categoría nacional, Tercera División

(Grupo XIII), y se ha aplicado en sesiones de entrenamiento, por lo que los resultados obtenidos en esta investigación no pueden ser extrapolados a la población general. Para futuras investigaciones es necesario ampliar la muestra.

Del mismo modo, para futuras líneas de investigación, proponemos el estudio de las variables analizadas en esta investigación en competición oficial, de manera que se puedan comparar los resultados obtenidos en entrenamientos y competición.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abt, G., & Lovell, R. (2009). The use of individualized speed and intensity thresholds for determining the distance run at high-intensity in professional soccer. *Journal of Sports Sciences*, 27(9), 893-898. <https://doi.org/10.1080/02640410902998239>
- Ade, J. D., Harley, J. A., & Bradley, P. S. (2014). Physiological Response, Time–Motion Characteristics, and Reproducibility of Various Speed-Endurance Drills in Elite Youth Soccer Players: Small-Sided Games Versus Generic Running. *International Journal of Sports Physiology and*

- Performance*, 9(3), 471-479. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2013-0390>
- Agnevik, G. (1970). Fotboll, Idrottsfysiologi, Rapport no. 7. *Trygg-Hansa, Stockholm*, 3–10.
- Aguiar, M., Botelho, G., Lago, C., Maças, V., & Sampaio, J. (2012). A Review on the Effects of Soccer Small-Sided Games. *Journal of Human Kinetics*, 33(1). <https://doi.org/10.2478/v10078-012-0049-x>
- Ahmad, N., Ghazilla, R. A. R., Khairi, N. M., & Kasi, V. (2013). Reviews on Various Inertial Measurement Unit (IMU) Sensor Applications. *International Journal of Signal Processing Systems*, 256-262. <https://doi.org/10.12720/ijsp.1.2.256-262>
- Ahmadi, A., Rowlands, D., & James, D. A. (2009). Towards a wearable device for skill assessment and skill acquisition of a tennis player during the first serve. *Sports Technology*, 2(3-4), 129-136. <https://doi.org/10.1080/19346182.2009.9648510>
- Akenhead, R., Harley, J. A., & Tweddle, S. P. (2016). Examining the External Training Load of an English Premier League Football Team With Special Reference

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- to Acceleration: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(9), 2424-2432. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001343>
- Akenhead, R., Hayes, P. R., Thompson, K. G., & French, D. (2013). Diminutions of acceleration and deceleration output during professional football match play. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(6), 556-561. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.12.005>
- Akenhead, R., & Nassis, G. P. (2016). Training Load and Player Monitoring in High-Level Football: Current Practice and Perceptions. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(5), 587-593. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0331>
- Akubat, I., Barrett, S., & Abt, G. (2014). Integrating the Internal and External Training Loads in Soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 457-462. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2012-0347>
- Alarifi, A., Al-Salman, A., Alsaleh, M., Alnafessah, A., Al-Hadhrani, S., Al-Ammar, M., & Al-Khalifa, H. (2016). Ultra Wideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent Advances. *Sensors*, 16(5), 707. <https://doi.org/10.3390/s16050707>

org/10.3390/s16050707

- Alexiou, H., & Coutts, A. J. (2008). A Comparison of Methods Used for Quantifying Internal Training Load in Women Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(3), 320-330. <https://doi.org/10.1123/ijsp.3.3.320>
- Aminian, K., & Najafi, B. (2004). Capturing human motion using body-fixed sensors: Outdoor measurement and clinical applications. *Computer animation and virtual worlds*, 15(2), 79–94. <https://doi.org/10.1002/cav.2>
- Andersson, H. VAA, Randers, M. B., Heiner-Møller, A., Krustrup, P., & Mohr, M. (2010). Elite female soccer players perform more high-intensity running when playing in international games compared with domestic league games. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(4), 912–919. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d09f21>
- Aquino, R., Munhoz Martins, G. H., Palucci Vieira, L. H., & Menezes, R. P. (2017). Influence of Match Location, Quality of Opponents, and Match Status on Movement Patterns in Brazilian Professional Football Players: Jour-

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- nal of Strength and Conditioning Research*, 31(8), 2155-2161. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001674>
- Arana, J., Lapresa, D., Anguera, M. T., & Garzón, B. (2016). Ad hoc procedure for optimising agreement between observational records. *Anales de Psicología*, 32(2), 589. <https://doi.org/10.6018/analesps.32.2.213551>
- Araújo, D., & Davids, K. (2016). Team Synergies in Sport: Theory and Measures. *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01449>
- Araujo, D., Davids, K., & Hristovski, R. (2006). The ecological dynamics of decision making in sport. *Psychology of sport and exercise*, 7(6), 653–676. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2006.07.002>
- Aroganam, G., Manivannan, N., & Harrison, D. (2019). Review on Wearable Technology Sensors Used in Consumer Sport Applications. *Sensors*, 19(9), 1983. <https://doi.org/10.3390/s19091983>
- Arruda, A. F., Carling, C., Zanetti, V., Aoki, M. S., Coutts, A. J., & Moreira, A. (2015). Effects of a very congested match schedule on body-load impacts, accelerations, and running measures in youth soccer players. *International*

- Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(2), 248–252. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0148>
- Arruda, F., Barreto, L. E., De Oliveira, R., Machado, R., & Cunha, S. A. (2012). Quantitative analysis of Brazilian football players' organisation on the pitch. *Sports Biomechanics*, 11(1), 85-96. <https://doi.org/10.1080/14763141.2011.637123>
- Aughey, R. J. (2010). Australian Football Player Work Rate: Evidence of Fatigue and Pacing? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 394-405. <https://doi.org/10.1123/ijsp.5.3.394>
- Aughey, R. J. (2011a). Applications of GPS technologies to field sports. *International journal of sports physiology and performance*, 6(3), 295–310. <https://doi.org/10.1123/ijsp.6.3.295>
- Aughey, R. J. (2011b). Increased high-intensity activity in elite Australian football finals matches. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(3), 367-379. <https://doi.org/10.1123/ijsp.6.3.367>
- Austin, D. J., & Kelly, S. J. (2013). Positional Differences in Professional Rugby League Match Play Through the

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Use of Global Positioning Systems: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(1), 14-19. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31824e108c>
- Bangsbo, J. (1994). The physiology of soccer—With special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiologica Scandinavica. Supplementum*, 619, 1-155.
- Bangsbo, Jens, 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. <https://doi.org/10.1080/02640410500482529>
- Bangsbo, Jens, Nørregaard, L., & Thorsoe, F. (1991). Activity profile of competition soccer. *Canadian journal of sport sciences= Journal canadien des sciences du sport*, 16(2), 110–116.
- Banister, E. W., Banister, E., Banister, E. M., & Banister, E. W. (1991). *Modeling elite athletic performance*.
- Barbero-Álvarez, JoséC., Boullosa, D. A., Nakamura, F. Y., Andrín, G., & Castagna, C. (2012). Physical and Physiological Demands of Field and Assistant Soccer Referees During America's Cup: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(5), 1383-1388. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31824e108c>

org/10.1519/JSC.0b013e31825183c5

- Barreira, P., Robinson, M. A., Drust, B., Nedergaard, N., Raja Azidin, R. M. F., & Vanrenterghem, J. (2017). Mechanical Player Load using trunk-mounted accelerometry in football: Is it a reliable, task- and player-specific observation? *Journal of Sports Sciences*, 35(17), 1674-1681. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1229015>
- Barrett, S., Midgley, A., & Lovell, R. (2014). PlayerLoad™: Reliability, Convergent Validity, and Influence of Unit Position during Treadmill Running. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(6), 945-952. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0418>
- Barrett, S., Midgley, A., Reeves, M., Joel, T., Franklin, E., Heyworth, R., Garrett, A., & Lovell, R. (2016). The within-match patterns of locomotor efficiency during professional soccer match play: Implications for injury risk? *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(10), 810-815. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.12.514>
- Barris, S., & Button, C. (2008). A Review of Vision-Based Motion Analysis in Sport: *Sports Medicine*, 38(12), 1025-1043. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838120-00006>

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barros, R. M., Misuta, M. S., Menezes, R. P., Figueroa, P. J., Moura, F. A., Cunha, S. A., Anido, R., & Leite, N. J. (2007). Analysis of the distances covered by first division Brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. *Journal of sports science & medicine*, 6(2), 233.
- Bartlett, R., Button, C., Robins, M., Dutt-Mazumder, A., & Kennedy, G. (2012). Analysing Team Coordination Patterns from Player Movement Trajectories in Soccer: Methodological Considerations. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 12(2), 398-424. <https://doi.org/10.1080/24748668.2012.11868607>
- Bastida Castillo, A. (2019). Análisis de los sistemas de seguimiento de jugadores basados en GNSS y posicionamiento local para su aplicación al fútbol. *Proyecto de investigación*.
- Bastida Castillo, A., Gómez Carmona, C. D., De la cruz sánchez, E., & Pino Ortega, J. (2018). Accuracy, intra- and inter-unit reliability, and comparison between GPS and UWB-based position-tracking systems used for time-motion analyses in soccer. *European Journal of Sport*

Science, 18(4), 450-457. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1427796>

Bastida-Castillo, A., Gómez-Carmona, C., De la Cruz-Sánchez, E., Reche-Royo, X., Ibáñez, S., & Pino Ortega, J. (2019). Accuracy and Inter-Unit Reliability of Ultra-Wide-Band Tracking System in Indoor Exercise. *Applied Sciences*, 9(5), 939. <https://doi.org/10.3390/app9050939>

Beato, M., Devereux, G., & Stiff, A. (2018). Validity and Reliability of Global Positioning System Units (STATSports Viper) for Measuring Distance and Peak Speed in Sports: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(10), 2831-2837. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002778>

Beato, M., Jamil, M., & Devereux, G. (2018). The Reliability of Technical and Tactical Tagging Analysis Conducted by a Semi-Automatic VTS In Soccer. *Journal of Human Kinetics*, 62(1), 103-110. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0162>

Bonitch, J., Ramirez, J., Femia, P., Feriche, B., & Padial, P. (2005). Validating the relation between heart rate and perceived exertion in a judo competition. *Medicina dello*

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Sport*, 58(1), 23–28.
- Bonomi, A. G., Goris, A. H. C., Yin, B., & Westerterp, K. R. (2009). Detection of Type, Duration, and Intensity of Physical Activity Using an Accelerometer: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(9), 1770-1777. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181a24536>
- Borg, G. (1962). *A simple rating scale for use in physical work test*. Håkan Ohlssons boktryckeri.
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 377-381. <https://doi.org/10.1249/00005768-198205000-00012>
- Bosco, C., & Vila, J. M. (1991). *Aspectos fisiológicos de la preparación física del futbolista*. Paidotribo.
- Bourbousson, J., Sève, C., & McGarry, T. (2010). Space–time coordination dynamics in basketball: Part 1. Intra-and inter-couplings among player dyads. *Journal of sports sciences*, 28(3), 339–347. <https://doi.org/10.1080/02640410903503632>
- Bowen, L., Gross, A. S., Gimpel, M., & Li, F.-X. (2017). Accumulated workloads and the acute:chronic workload ratio

- relate to injury risk in elite youth football players. *British Journal of Sports Medicine*, 51(5), 452-459. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095820>
- Boyd, L. J., Ball, K., & Aughey, R. J. (2011). The reliability of MinimaxX accelerometers for measuring physical activity in Australian football. *Int J Sports Physiol Perform*, 6(3), 311–321. <https://doi.org/10.1123/ijssp.6.3.311>
- Boyd, L. J., Ball, K., & Aughey, R. J. (2013). Quantifying external load in Australian football matches and training using accelerometers. *Int J Sports Physiol Perform*, 8(1), 44–51. <https://doi.org/10.1123/ijssp.8.1.44>
- 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. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181aeb1b3>
- Bradley, P. S., Lago-Peñas, C., Rey, E., & Gomez Diaz, A. (2013). The effect of high and low percentage ball possession on physical and technical profiles in English FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Sciences*, 31(12), 1261-1270. <https://doi.org/10.1080/0264>

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

0414.2013.786185

- Bradley, P. S., Sheldon, W., Wooster, B., Olsen, P., Boanas, P., & Krstrup, P. (2009). High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Sciences*, 27(2), 159-168. <https://doi.org/10.1080/02640410802512775>
- Brito, J., Krstrup, P., & Rebelo, A. (2012). The influence of the playing surface on the exercise intensity of small-sided recreational soccer games. *Human Movement Science*, 31(4), 946-956. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2011.08.011>
- Buchheit, M., Manouvrier, C., Cassirame, J., & Morin, J.-B. (2015). Monitoring Locomotor Load in Soccer: Is Metabolic Power, Powerful? *International Journal of Sports Medicine*, 36(14), 1149-1155. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1555927>
- Buchheit, M., Mendez-villanueva, A., Simpson, B. M., & Bourdon, P. C. (2010). Repeated-Sprint Sequences During Youth Soccer Matches. *International Journal of Sports Medicine*, 31(10), 709-716. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1261897>

- Buchheit, M., Racinais, S., Bilsborough, J. C., Bourdon, P. C., Voss, S. C., Hocking, J., Cordy, J., Mendez-Villanueva, A., & Coutts, A. J. (2013). Monitoring fitness, fatigue and running performance during a pre-season training camp in elite football players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(6), 550-555. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.12.003>
- Buchheit, M., & Simpson, B. M. (2017). Player-tracking technology: Half-full or half-empty glass? *International journal of sports physiology and performance*, 12(s2), S2-35. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0499>
- Buchheit, Martin, Allen, A., Poon, T. K., Modonutti, M., Gregson, W., & Di Salvo, V. (2014). Integrating different tracking systems in football: Multiple camera semi-automatic system, local position measurement and GPS technologies. *Journal of Sports Sciences*, 32(20), 1844-1857. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.942687>
- Bujalance-Moreno, P., Latorre-Román, P. Á., & García-Pinillos, F. (2018). A systematic review on small-sided games in football players: Acute and chronic adaptations. *Journal of Sports Sciences*, 1-29. <https://doi.org/10.1080/02640>

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

414.2018.1535821

- Busa, M., & McGregor, S. J. (2008). The use of accelerometers to assess human locomotion. *Clinical Kinesiology: Journal of the American Kinesiotherapy Association*, 62(4), 21–26. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000321561.88930.30>
- Caparrós, T., Casals, M., Solana, Á., & Peña, J. (2018). Low External Workloads Are Related to Higher Injury Risk in Professional Male Basketball Games. *Journal of Sports Science & Medicine*, 17(2), 289-297.
- Carling, C., Dupont, G., & Le Gall, F. (2011). The Effect of a Cold Environment on Physical Activity Profiles in Elite Soccer Match-Play. *International Journal of Sports Medicine*, 32(07), 542-545. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1273711>
- Carling, Christopher, & Bloomfield, J. (2010). The effect of an early dismissal on player work-rate in a professional soccer match. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1), 126–128. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.09.004>
- Carling, Christopher, Bloomfield, J., Nelsen, L., & Reilly, T. (2008). The Role of Motion Analysis in Elite Soccer:

- Contemporary Performance Measurement Techniques and Work Rate Data. *Sports Medicine*, 38(10), 839-862. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838100-00004>
- Carling, Christopher, & Dupont, G. (2011). Are declines in physical performance associated with a reduction in skill-related performance during professional soccer match-play? *Journal of Sports Sciences*, 29(1), 63-71. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.521945>
- Casajús, J. A. (2001). Seasonal variation in fitness variables in professional soccer players. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 41(4), 463-469.
- Casamichana, D., & Castellano, J. (2015). The Relationship Between Intensity Indicators in Small-Sided Soccer Games. *Journal of Human Kinetics*, 46(1), 119-128. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0040>
- Casamichana, D., Castellano, J., Calleja-Gonzalez, J., San Román, J., & Castagna, C. (2013). Relationship Between Indicators of Training Load in Soccer Players: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(2), 369-374. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182548af1>
- Casamichana, D., Castellano, J., & Castagna, C. (2012).

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Comparing the Physical Demands of Friendly Matches and Small-Sided Games in Semiprofessional Soccer Players: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(3), 837-843. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31822a61cf>
- Castagna, C., Impellizzeri, F., Cecchini, E., Rampinini, E., & Alvarez, J. C. B. (2009). Effects of intermittent-endurance fitness on match performance in young male soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(7), 1954-1959. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b7f743>
- Castellano, J., Blanco-Villaseñor, A., & Álvarez, D. (2011). Contextual Variables and Time-Motion Analysis in Soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 32(06), 415-421. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1271771>
- Castellano, Julen, Alvarez-Pastor, D., & Bradley, P. S. (2014a). Evaluation of Research Using Computerised Tracking Systems (Amisco® and Prozone®) to Analyse Physical Performance in Elite Soccer: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 44(5), 701-712. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0144-3>

- Castellano, Julen, Alvarez-Pastor, D., & Bradley, P. S. (2014b). Evaluation of Research Using Computerised Tracking Systems (Amisco® and Prozone®) to Analyse Physical Performance in Elite Soccer: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 44(5), 701-712. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0144-3>
- Castellano, Julen, & Casamichana, D. (2013). Differences in the number of accelerations between small-sided games and friendly matches in soccer. *Journal of sports science & medicine*, 12(1), 209.
- Castells, C. B., Romero, J. G., García, J. F., & Cruz, J. A. Métodos actuales de análisis del partido de fútbol/Current Methods of Soccer Match Analysis. pp. 785-803. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, (60).
- Castillo, D., Raya-González, J., Manuel Clemente, F., & Yanci, J. (2019). The influence of youth soccer players' sprint performance on the different sided games' external load using GPS devices. *Research in Sports Medicine*, 1-12. <https://doi.org/10.1080/15438627.2019.1643726>
- Chambers, R., Gabbett, T. J., Cole, M. H., & Beard, A. (2015).

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- The use of wearable microsensors to quantify sport-specific movements. *Sports Medicine*, 45(7), 1065-1081. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0332-9>
- Chamoux, A., Fellmann, N., Mombaerts, E., Catilina, P., & ET COUDERT, J. (1988). Football Professionel. Sur le terrain, suivi de l'entraînement par la fréquence cardiaque et la lactatémie. *Médecine du Sport*, 62(2), 88–93.
- Chardonens, J., Favre, J., Cuendet, F., Gremion, G., & Aminian, K. (2013). Characterization of lower-limbs inter-segment coordination during the take-off extension in ski jumping. *Human Movement Science*, 32(4), 741-752. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2013.01.010>
- Christopher, J., Beato, M., & Hulton, A. T. (2016). Manipulation of exercise to rest ratio within set duration on physical and technical outcomes during small-sided games in elite youth soccer players. *Human Movement Science*, 48, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2016.03.013>
- Clemente, F. M., Figueiredo, A. J., Martins, F. M. L., Mendes, R. S., & Wong, D. P. (2016). Physical and technical performances are not associated with tactical prominence in U14 soccer matches. *Research in Sports Medicine*,

24(4), 352-362. <https://doi.org/10.1080/15438627.2016.1222277>

Cormack, S. J., Mooney, M. G., Morgan, W., & McGuigan, M. R. (2013). Influence of neuromuscular fatigue on accelerometer load in elite Australian football players. *Int J Sports Physiol Perform*, 8(4), 373–378. <https://doi.org/10.1123/ijsp.8.4.373>

Couceiro, M. S., Clemente, F. M., Martins, F. M., & Machado, J. A. T. (2014). Dynamical stability and predictability of football players: The study of one match. *Entropy*, 16(2), 645–674. <https://doi.org/10.3390/e16020645>

Coutts, A. J., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.09.015>

Culhane, K. M., O'Connor, M., Lyons, D., & Lyons, G. M. (2005). Accelerometers in rehabilitation medicine for older adults. *Age and Ageing*, 34(6), 556-560. <https://doi.org/10.1093/ageing/afi192>

Cummins, C., Orr, R., O'Connor, H., & West, C. (2013). Global Positioning Systems (GPS) and Microtechnology

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Sensors in Team Sports: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 43(10), 1025-1042. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0069-2>
- Cunniffe, B., Proctor, W., Baker, J. S., & Davies, B. (2009). An Evaluation of the Physiological Demands of Elite Rugby Union Using Global Positioning System Tracking Software: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(4), 1195-1203. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181a3928b>
- Cust, E. E., Sweeting, A. J., Ball, K., & Robertson, S. (2019). Machine and deep learning for sport-specific movement recognition: A systematic review of model development and performance. *Journal of Sports Sciences*, 37(5), 568-600. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1521769>
- Dalen, T., Jørgen, I., Gertjan, E., GeirHavard, H., & Ulrik, W. (2016). Player Load, Acceleration, and Deceleration During Forty-Five Competitive Matches of Elite Soccer: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(2), 351-359. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001063>
- Day, M. L., McGuigan, M. R., Brice, G., & Foster, C. (2004).

Monitoring exercise intensity during resistance training using the session RPE scale. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(2), 353-358. <https://doi.org/10.1519/00124278-200405000-00027>

De la Vega Marcos, R., Díaz, S. D. V., Rico, A. M., & Hernández, A. M. (2008). Una nueva herramienta para la comprensión táctica en el fútbol. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte/ International Journal of Medicine and Science of Physical Activity and Sport*, 8(30), 130-145.

del Villar Álvarez, F., & González, L. G. (2014). *El entrenamiento táctico y decisional en el deporte*. Síntesis.

Dellal, A., Chamari, K., Pintus, A., Girard, O., Cotte, T., & Keller, D. (2008). Heart Rate Responses During Small-Sided Games and Short Intermittent Running Training in Elite Soccer Players: A Comparative Study: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(5), 1449-1457. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31817398c6>

Dellal, A., Chamari, K., Wong, D. P., Ahmaidi, S., Keller, D., Barros, R., Bisciotti, G. N., & Carling, C. (2011). Comparison of physical and technical performance in European

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- soccer match-play: FA Premier League and La Liga. *European Journal of Sport Science*, 11(1), 51-59. <https://doi.org/10.1080/17461391.2010.481334>
- Dellal, A., Keller, D., Carling, C., Chaouachi, A., Wong, D. P., & Chamari, K. (2010). Physiologic Effects of Directional Changes in Intermittent Exercise in Soccer Players: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(12), 3219-3226. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b94a63>
- Dellaserra, C. L., Gao, Y., & Ransdell, L. (2014). Use of Integrated Technology in Team Sports: A Review of Opportunities, Challenges, and Future Directions For Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2(28), 556-573.
- di Prampero, P. E. (2005). Sprint running: A new energetic approach. *Journal of Experimental Biology*, 208(14), 2809-2816. <https://doi.org/10.1242/jeb.01700>
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon Montero, F., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance Characteristics According to Playing Position in Elite Soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3), 222-227.

<https://doi.org/10.1055/s-2006-924294>

Di Salvo, V., Gregson, W., Atkinson, G., Tordoff, P., & Drust, B. (2009). Analysis of High Intensity Activity in Premier League Soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 30(03), 205-212. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1105950>

Di Salvo, Valter, Baron, R., González-Haro, C., Gormasz, C., Pigozzi, F., & Bachl, N. (2010). Sprinting analysis of elite soccer players during European Champions League and UEFA Cup matches. *Journal of Sports Sciences*, 28(14), 1489-1494. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.521166>

Djaoui, L., Haddad, M., Chamari, K., & Dellal, A. (2018). Corrigendum to “Monitoring training load and fatigue in soccer players with physiological markers” [Physiol. Behav. 181 (2017) 86–94]. *Physiology & Behavior*, 194, 589. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.02.041>

Dobson, B. P., & Keogh, J. W. (2007). Methodological issues for the application of time-motion analysis research. *Strength and Conditioning Journal*, 29(2), 48. <https://doi.org/10.1519/00126548-200704000-00006>

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- D'OTTAVIO, S., & CASTAGNA, C. (2001). Analysis of match activities in elite soccer referees during actual match play. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 15(2), 167–171. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2001\)015<0167:AOMAIE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2001)015<0167:AOMAIE>2.0.CO;2)
- Duarte, R., Araújo, D., Davids, K., Travassos, B., Gazimba, V., & Sampaio, J. (2012). Interpersonal coordination tendencies shape 1-vs-1 sub-phase performance outcomes in youth soccer. *Journal of sports sciences*, 30(9), 871–877. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.675081>
- Duffield, R., Steinbacher, G., & Fairchild, T. J. (2009). The use of mixed-method, part-body pre-cooling procedures for team-sport athletes training in the heat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(9), 2524-2532. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bf7a4f>
- Dupont, G., Nedelec, M., McCall, A., McCormack, D., Berthoin, S., & Wisløff, U. (2010). Effect of 2 Soccer Matches in a Week on Physical Performance and Injury Rate. *The American Journal of Sports Medicine*, 38(9), 1752-1758. <https://doi.org/10.1177/0363546510361236>
- Dwyer, D. B., & Gabbett, T. J. (2012). Global Positioning System

- Data Analysis: Velocity Ranges and a New Definition of Sprinting for Field Sport Athletes: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(3), 818-824. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182276555>
- Dyson, B., Griffin, L. L., & Hastie, P. (2004). Sport education, tactical games, and cooperative learning: Theoretical and pedagogical considerations. *Quest*, 226–240. <https://doi.org/10.1080/00336297.2004.10491823>
- Edwards, S. (1994). *The heart rate monitor book*. <https://doi.org/10.1249/00005768-199405000-00020>
- Ekblom, B. (1986). Applied physiology of soccer. *Sports medicine*, 3(1), 50–60. <https://doi.org/10.2165/00007256-198603010-00005>
- Esfandyari, J., De Nuccio, R., & Xu, G. (2010). Introduction to mems gyroscopes. *Solid State Technology*, 31.
- Esteves, P. T., Silva, P., Vilar, L., Travassos, B., Duarte, R., Arede, J., & Sampaio, J. (2016). Space occupation near the basket shapes collective behaviours in youth basketball. *Journal of sports sciences*, 34(16), 1557–1563. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1122825>
- Favre, J., Jolles, B. M., Aissaoui, R., & Aminian, K. (2008).

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ambulatory measurement of 3D knee joint angle. *Journal of Biomechanics*, 41(5), 1029-1035. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2007.12.003>
- Federation Internationale de Football Association, 2015–2016. Available at: http://es.fifa.com/mm/Document/FootballDevelopment/Refereeing/02/36/01/11/LawsofthegamewebES_Spanish.pdf; accessed on 05.06.2020
- Ferreira, L. M. M. B. (2002). *Análise da performance em futebol: Estudo comparativo da frequência cardíaca e das ações táctico-técnicas defensivas em equipas de diferente nível competitivo no escalão sub 16-17*.
- Findlow, A., Goulermas, J. Y., Nester, C., Howard, D., & Kenney, L. P. J. (2008). Predicting lower limb joint kinematics using wearable motion sensors. *Gait & Posture*, 28(1), 120-126. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.11.001>
- Flanagan, T., & Merrick, E. (2002). Quantifying the workload of soccer players. En *Science and Football IV* (Spinks, W., Reilly, T., y Murphy, A., pp. 341-349). Routledge.
- Folgado, H., Duarte, R., Marques, P., & Sampaio, J. (2015). The effects of congested fixtures period on tactical and

- physical performance in elite football. *Journal of Sports Sciences*, 33(12), 1238-1247. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1022576>
- Folgado, H., Gonçalves, B., & Sampaio, J. (2018). Positional synchronization affects physical and physiological responses to preseason in professional football (soccer). *Research in Sports Medicine*, 26(1), 51–63. <https://doi.org/10.1080/15438627.2017.1393754>
- Folgado, H., Lemmink, K. A., Frencken, W., & Sampaio, J. (2014). Length, width and centroid distance as measures of teams tactical performance in youth football. *European Journal of Sport Science*, 14(sup1), S487–S492. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.730060>
- Fonseca, S., Milho, J., Travassos, B., & Araújo, D. (2012). Spatial dynamics of team sports exposed by Voronoi diagrams. *Human Movement Science*, 31(6), 1652-1659. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2012.04.006>
- Font, G. R., Pedret, C., Ramos, J., & Ortís, L. C. (2008). Variabilidad de la frecuencia cardiaca: Conceptos, medidas y relación con aspectos clínicos (parte II). *Archivos de medicina del deporte: revista de la Federación Española de*

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Medicina del Deporte y de la Confederación Iberoamericana de Medicina del Deporte, 124, 119–127.

Foster, C., Hector, L. L., Welsh, R., Schragger, M., Green, M. A., & Snyder, A. C. (1995). Effects of specific versus cross-training on running performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 70(4), 367-372. <https://doi.org/10.1007/BF00865035>

Frencken, W. G. P., Lemmink, K. A. P. M., & Delleman, N. J. (2010). Soccer-specific accuracy and validity of the local position measurement (LPM) system. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(6), 641-645. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2010.04.003>

Frencken, W., Lemmink, K., Delleman, N., & Visscher, C. (2011a). Oscillations of centroid position and surface area of soccer teams in small-sided games. *European Journal of Sport Science*, 11(4), 215-223. <https://doi.org/10.1080/17461391.2010.499967>

Frencken, W., Lemmink, K., Delleman, N., & Visscher, C. (2011b). Oscillations of centroid position and surface area of soccer teams in small-sided games. *European Journal of Sport Science*, 11(4), 215-223. <https://doi.org>

/10.1080/17461391.2010.499967

Gabbett, T. (2013). Quantifying the Physical Demands of Collision Sports: Does Microsensor Technology Measure What It Claims to Measure? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(8), 2319-2322. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318277fd21>

Gabbett, T. J., Kelly, J. N., & Sheppard, J. M. (2008). Speed, Change of Direction Speed, and Reactive Agility of Rugby League Players: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(1), 174-181. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31815ef700>

Gabbett, T. J., & Ullah, S. (2012). Relationship between running loads and soft-tissue injury in elite team sport athletes: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(4), 953-960. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182302023>

Gamonales Puerto, J. M., León-Guzmán, K., Gómez-Carmona, C., & Domínguez-Manzano, F. (2018). Variables tácticas y situacionales en el fútbol para personas con discapacidad cerebral: Jj. Oo´ 2012. *Journal of Sport and Health Research*, 10(supl 1), 145-154.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- García García, Ó. (2005). Estudio de la frecuencia cardiaca del futbolista profesional en competición: Un modelo explicativo a partir del contexto de la situación de juego.
- Gastin, P. B., Mclean, O. C., Breed, R. V. P., & Spittle, M. (2014). Tackle and impact detection in elite Australian football using wearable microsensor technology. *Journal of Sports Sciences*, 32(10), 947-953. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.868920>
- Gaudino, P., Iaia, F., Alberti, G., Hawkins, R., Strudwick, A., & Gregson, W. (2013). Systematic Bias between Running Speed and Metabolic Power Data in Elite Soccer Players: Influence of Drill Type. *International Journal of Sports Medicine*, 35(06), 489-493. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1355418>
- Gaudino, Paolo, Alberti, G., & Iaia, F. M. (2014). Estimated metabolic and mechanical demands during different small-sided games in elite soccer players. *Human Movement Science*, 36, 123-133. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2014.05.006>
- Gaudino, Paolo, Iaia, F. M., Strudwick, A. J., Hawkins, R. D., Alberti, G., Atkinson, G., & Gregson, W. (2015). Factors

- Influencing Perception of Effort (Session Rating of Perceived Exertion) during Elite Soccer Training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(7), 860-864. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0518>
- Gentles, J., Coniglio, C., Besemer, M., Morgan, J., & Mahnken, M. (2018). The Demands of a Women's College Soccer Season. *Sports*, 6(1), 16. <https://doi.org/10.3390/sports6010016>
- Gómez, M. A., Gómez-Lopez, M., Lago, C., & Sampaio, J. (2012). Effects of game location and final outcome on game-related statistics in each zone of the pitch in professional football. *European Journal of Sport Science*, 12(5), 393-398. <https://doi.org/10.1080/17461391.2011.566373>
- Gómez-Díaz, A. J., Pallarés, J. G., & Díaz, A. (s. f.). 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, 8.
- Gonçalves, B. S. V. (2018). *Collective movement behaviour in association football*.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- González-Víllora, S., Serra-Olivares, J., Pastor-Vicedo, J. C., & da Costa, I. T. (2015). Review of the tactical evaluation tools for youth players, assessing the tactics in team sports: Football. *SpringerPlus*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1462-0>
- Granero-Gil, P., Bastida-Castillo, A., Rojas-Valverde, D., Gómez-Carmona, C. D., de la Cruz Sánchez, E., & Pino-Ortega, J. (2020). Influence of Contextual Variables in the Changes of Direction and Centripetal Force Generated during an Elite-Level Soccer Team Season. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 967. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030967>
- Gray, A. J., & Jenkins, D. G. (2010). Match Analysis and the Physiological Demands of Australian Football: *Sports Medicine*, 40(4), 347-360. <https://doi.org/10.2165/11531400-000000000-00000>
- Grehaigne, J.-F., Bouthier, D., & David, B. (1997). Dynamic-system analysis of opponent relationships in collective actions in soccer. *Journal of sports sciences*, 15(2), 137–149. <https://doi.org/10.1080/026404197367416>
- Gréhaigne, J. F., Caty, D., & Marle, P. (2005). EPS, séquences

de jeu et apprentissage en sport collectif à l'école. In *Forum International de l'Education physique et du sport. Cité Universitaire Internationale de Paris.*

Halsey, L. G., Shepard, E. L., & Wilson, R. P. (2011). Assessing the development and application of the accelerometry technique for estimating energy expenditure. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 158(3), 305-314. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.09.002>

Halson, S. L. (2014). Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Medicine*, 44(2), 139-147. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0253-z>

Harley, J. A., Barnes, C. A., 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. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.510142>

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: *Journal*

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- of Strength and Conditioning Research*, 25(8), 2334-2336. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181f0a88f>
- 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(4), 966-972. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d09e24>
- Higgins, T., Naughton, G. A., & Burgess, D. (2009). Effects of wearing compression garments on physiological and performance measures in a simulated game-specific circuit for netball. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(1), 223-226. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.08.018>
- Hill-Haas, S. V., Dawson, B., Impellizzeri, F. M., & Coutts, A. J. (2011). Physiology of Small-Sided Games Training in Football: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 41(3), 199-220. <https://doi.org/10.2165/11539740-000000000-00000>
- Hill-Haas, S. V., Dawson, B. T., Coutts, A. J., & Rowsell, G. J. (2009). Physiological responses and time-motion characteristics of various small-sided soccer games in youth

- players. *Journal of Sports Sciences*, 27(1), 1-8. <https://doi.org/10.1080/02640410802206857>
- Hodder, R. W., Ball, K. A., & Serpiello, F. R. (2020). Criterion Validity of Catapult ClearSky T6 Local Positioning System for Measuring Inter-Unit Distance. *Sensors*, 20(13), 3693. <https://doi.org/10.3390/s20133693>
- Hodgson, C., Akenhead, R., & Thomas, K. (2014). Time-motion analysis of acceleration demands of 4v4 small-sided soccer games played on different pitch sizes. *Human Movement Science*, 33, 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2013.12.002>
- Hoppe, M. W., Baumgart, C., Polglaze, T., & Freiwald, J. (2018). Validity and reliability of GPS and LPS for measuring distances covered and sprint mechanical properties in team sports. *PLOS ONE*, 13(2), e0192708. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192708>
- Horn, C., & Fearn, H. (2007). On the flight of an american football. *arXiv preprint arXiv:0706.0366*.
- Hynnen, E., Uusitalo, A., Konttinen, N., & Rusko, H. (2006). Heart Rate Variability during Night Sleep and after Awakening in Overtrained Athletes: *Medicine & Sci-*

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ence in Sports & Exercise*, 38(2), 313-317. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000184631.27641.b5>
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Coutts, A. J., Sassi, A., & Marcora, S. M. (2004). Use of RPE-Based Training Load in Soccer: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(6), 1042-1047. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000128199.23901.2F>
- Jackson, B. M., Polglaze, T., Dawson, B., King, T., & Peeling, P. (2018). Comparing Global Positioning System and Global Navigation Satellite System Measures of Team-Sport Movements. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(8), 1005-1010. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0529>
- Jennings, D., Cormack, S. J., Coutts, A. J., & Aughey, R. J. (2012). GPS Analysis of an International Field Hockey Tournament. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(3), 224-231. <https://doi.org/10.1123/ijsp.7.3.224>
- Jiménez, R., Loyola, J. M., & Ostolaza, J. M. (1993). Estudio fisiológico sobre el fútbol juvenil. *Red: revista de entrenamiento deportivo*, 7(2), 22-27.

- Jones, S., & Drust, B. (2007). Physiological and technical demands of 4 v 4 and 8 v 8 games in elite youth soccer players. *Kinesiology: International journal of fundamental and applied kinesiology*, 39(2.), 150-156.
- Juárez-Toledo, L., Domínguez-García, M. V., Laguna-Camacho, A., Sotomayor-Serrano, N., & Balbás-Lara, F. (2018). Somatotype and digital dermatoglyphic in Mexican football players. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 18(70). <https://doi.org/10.15366/rimcafd2018.70.011>
- Kelly, D. M., & Drust, B. (2009). The effect of pitch dimensions on heart rate responses and technical demands of small-sided soccer games in elite players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(4), 475-479. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.01.010>
- Kleiger, R. E., Stein, P. K., & Bigger Jr, J. T. (2005). Heart rate variability: Measurement and clinical utility. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 10(1), 88–101. <https://doi.org/10.1111/j.1542-474X.2005.10101.x>
- Kozey, S. L., Lyden, K., Howe, C. A., Staudenmayer, J. W., & Freedson, P. S. (2010). Accelerometer Output and MET

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Values of Common Physical Activities: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(9), 1776-1784. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181d479f2>
- Krasnoff, J. B., Kohn, M. A., Choy, F. K., Doyle, J., Johansen, K., & Painter, P. L. (2008). Interunit and intraunit reliability of the RT3 triaxial accelerometer. *Journal of Physical Activity and Health*, 5(4), 527–538. <https://doi.org/10.1123/jpah.5.4.527>
- Krustrup, P., Mohr, M., Ellingsgaard, H., & Bangsbo, J. (2005). Physical demands during an elite female soccer game: Importance of training status. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(7), 1242–1248. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000170062.73981.94>
- Kunze, K., Bahle, G., Lukowicz, P., & Partridge, K. (2010, October). Can magnetic field sensors replace gyroscopes in wearable sensing applications?. In *International Symposium on Wearable Computers (ISWC) 2010* (pp. 1-4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISWC.2010.5665859>
- Lago-Peñas, C., Rey, E., Lago-Ballesteros, J., Casais, L., & Domínguez, E. (2009). Analysis of work-rate in soccer according to playing positions. *International Journal of*

Performance Analysis in Sport, 9(2), 218-227. <https://doi.org/10.1080/24748668.2009.11868478>

Lago-Peñas, Carlos, & Lago-Ballesteros, J. (2011). Game Location and Team Quality Effects on Performance Profiles in Professional Soccer. *Journal of Sports Science & Medicine*, 10(3), 465-471.

Lames, M., Ertmer, J., & Walter, F. (2010). Oscillations in football—Order and disorder in spatial interactions between the two teams. *International Journal of Sport Psychology*, 41(4), 85.

Lapresa, D., Del Río, Á., Arana, J., Amatria, M., & Anguera, M. T. (2018). Use of effective play-space by U12 FC Barcelona players: An observational study combining lag sequential analysis and T-pattern detection. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 18(2), 293-309. <https://doi.org/10.1080/24748668.2018.1475195>

Larsson, P. (2003). Global Positioning System and Sport-Specific Testing: *Sports Medicine*, 33(15), 1093-1101. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333150-00002>

Leser, R., Baca, A., & Ogris, G. (2011). Local Positioning Systems in (Game) Sports. *Sensors*, 11(12), 9778-9797.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<https://doi.org/10.3390/s111009778>

- Linke, D., Link, D., & Lames, M. (2018). Validation of electronic performance and tracking systems EPTS under field conditions. *PLOS ONE*, *13*(7), e0199519. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199519>
- Little, T., & Williams, A. G. (2007). Measures of exercise intensity during soccer training drills with professional soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *21*(2), 367-371. <https://doi.org/10.1519/00124278-200705000-00013>
- Pérez López, P. (2014). Un método de calibración de sensores inerciales.
- Low, B., Coutinho, D., Gonçalves, B., Rein, R., Memmert, D., & Sampaio, J. (2020). A Systematic Review of Collective Tactical Behaviours in Football Using Positional Data. *Sports Medicine*, *50*(2), 343-385. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01194-7>
- 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 Sciences*, *27*(2), 121-128. <https://doi.org/10.1080/02643758.2009.317111>

org/10.1080/02640410802422181

Macutkiewicz, D., & Sunderland, C. (2011). The use of GPS to evaluate activity profiles of elite women hockey players during match-play. *Journal of Sports Sciences*, 29(9), 967-973. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.570774>

Mallo, J., Mena, E., Nevado, F., & Paredes, V. (2015). Physical Demands of Top-Class Soccer Friendly Matches in Relation to a Playing Position Using Global Positioning System Technology. *Journal of Human Kinetics*, 47(1), 179-188. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0073>

Malone, J. J., Lovell, R., Varley, M. C., & Coutts, A. J. (2017). Unpacking the Black Box: Applications and Considerations for Using GPS Devices in Sport. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(Suppl 2), S2-18-S2-26. <https://doi.org/10.1123/ijsspp.2016-0236>

Malone, S., Mendes, B., Hughes, B., Roe, M., Devenney, S., Collins, K., & Owen, A. (2018). Decrements in neuromuscular performance and increases in creatine kinase impact training outputs in elite soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(5), 1342–

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1351. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001997>
- Malone, S., Solan, B., Collins, K., & Doran, D. A. (2016). The metabolic power and energetic demands of elite Gaelic football match play. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*.
- Manzi, V., Impellizzeri, F., & Castagna, C. (2014). Aerobic Fitness Ecological Validity in Elite Soccer Players: A Metabolic Power Approach. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(4), 914-919. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000239>
- Martinelli, A., Dolfi, M., Morosi, S., Mucchi, L., Paoli, M., & Agili, A. (2019). Ultra-wide Band Positioning in Sport: How the Relative Height Between the Transmitting and the Receiving Antenna Affects the System Performance. *International Journal of Wireless Information Networks*. <https://doi.org/10.1007/s10776-019-00470-7>
- Cabrera, F. I. M. (2019). *Valoración de las demandas de aceleración en fútbol en función a la velocidad inicial, velocidad final y potencia metabólica* (Doctoral dissertation, Universidad Pablo de Olavide).
- Martínez, R. N. (1998). Análisis de las modificaciones de fre-

cuencia cardiaca de futbolistas no profesionales durante la competición. *Training fútbol: Revista técnica profesional*, 25, 42–46.

Martín-Moya, R., & Ruíz-Montero, P. J. (2019). Demandas físicas centradas en factores externos del futbolista profesional. *Revista Iberoamericana de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 6(3), 26. <https://doi.org/10.24310/riccafd.2017.v6i3.6129>

McGregor, S. J., Armstrong, W. J., Yaggie, J. A., Parshad, R. D., & Bollt, E. M. (2011). Fatiguing Exercise Increases Complexity of Postural Control: Control Entropy of High-Resolution Accelerometry. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(Suppl 1), 526. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000401451.63095.d3>

McGregor, S. J., Busa, M. A., Skufca, J., Yaggie, J. A., & Bollt, E. M. (2009). Control entropy identifies differential changes in complexity of walking and running gait patterns with increasing speed in highly trained runners. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 19(2), 026109. <https://doi.org/10.1063/1.3147423>

McLellan, C. P., & Lovell, D. I. (2012). Neuromuscular respons-

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- es to impact and collision during elite rugby league match play. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(5), 1431–1440. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318231a627>
- Memmert, D., Lemmink, K. A., & Sampaio, J. (2017). Current Approaches to Tactical Performance Analyses in Soccer Using Position Data. *Sports Medicine*, 47(1), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0562-5>
- Mendez-Villanueva, A., Buchheit, M., Simpson, B., & Bourdon, P. (2012). Match Play Intensity Distribution in Youth Soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 34(02), 101-110. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1306323>
- Migueles, J. H., Cadenas-Sanchez, C., Ekelund, U., Delisle Nyström, C., Mora-Gonzalez, J., Löf, M., Labayen, I., Ruiz, J. R., & Ortega, F. B. (2017). Accelerometer Data Collection and Processing Criteria to Assess Physical Activity and Other Outcomes: A Systematic Review and Practical Considerations. *Sports Medicine*, 47(9), 1821-1845. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0716-0>
- Miñano-Espin, J., Casáis, L., Lago-Peñas, C., & Gómez-Ruano, M. Á. (2017). High Speed Running and Sprint-

- ing Profiles of Elite Soccer Players. *Journal of Human Kinetics*, 58(1), 169-176. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0086>
- Mohr, M., Krustup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21(7), 519-528. <https://doi.org/10.1080/0264041031000071182>
- Mohr, M., Mujika, I., Santisteban, J., Randers, M. B., Bischoff, R., Solano, R., Hewitt, A., Zubillaga, A., Peltola, E., & Krustup, P. (2010). Examination of fatigue development in elite soccer in a hot environment: A multi-experimental approach. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20, 125–132. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01217.x>
- Mombaerts, E. (1998). *Fútbol: Entrenamiento y rendimiento colectivo, Hispano Europea*. Barcelona.
- Moreno-Pérez, V., Malone, S., Sala-Pérez, L., Lapuente-Sagarra, M., Campos-Vazquez, M. A., & Del Coso, J. (2020). Activity monitoring in professional soccer goalkeepers during training and match play. *International Journal of*

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Performance Analysis in Sport*, 20(1), 19-30. <https://doi.org/10.1080/24748668.2019.1699386>
- Moura, F. A., Martins, L. E. B., Anido, R. O., Ruffino, P. R. C., Barros, R. M., & Cunha, S. A. (2013). A spectral analysis of team dynamics and tactics in Brazilian football. *Journal of sports sciences*, 31(14), 1568–1577. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.789920>
- Moura, F. A., Santana, J. E., Vieira, N. A., Santiago, P. R. P., & Cunha, S. A. (2015). Analysis of Soccer Players' Positional Variability During the 2012 UEFA European Championship: A Case Study. *Journal of Human Kinetics*, 47(1), 225-236. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0078>
- Moya, M. (2002). *Indicadores psicobiológicos del estrés deportivo en tenistas* (Doctoral dissertation, Tesis doctoral de la Universitat de Valencia. España).
- Nedergaard, N. J., Robinson, M. A., Eusterwiemann, E., Drust, B., Lisboa, P. J., & Vanrenterghem, J. (2017). The Relationship Between Whole-Body External Loading and Body-Worn Accelerometry During Team-Sport Movements. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(1), 18-26. <https://doi.org/10.1123/>

ijspp.2015-0712

- Nicolella, D. P., Torres-Ronda, L., Saylor, K. J., & Schelling, X. (2018). Validity and reliability of an accelerometer-based player tracking device. *PLOS ONE*, *13*(2), e0191823. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191823>
- Noble, B. J., & Robertson, R. J. (1996). Perceived Exertion, Human Kinetics. *Illinois: Champaign*.
- Odetoyinbo, K., Wooster, B., & Lane, A. (2008). 18 The effect of a succession of matches on the activity profiles of professional soccer players. *Science and football VI*, 105.
- O'Donovan, K. J., Kamnik, R., O'Keeffe, D. T., & Lyons, G. M. (2007). An inertial and magnetic sensor based technique for joint angle measurement. *Journal of Biomechanics*, *40*(12), 2604-2611. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2006.12.010>
- Ogris, G., Leser, R., Horsak, B., Kornfeind, P., Heller, M., & Baca, A. (2012). Accuracy of the LPM tracking system considering dynamic position changes. *Journal of Sports Sciences*, *30*(14), 1503-1511. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.712712>
- Okihara, K., Kan, A., Shiokawa, M., Choi, C. S., Deguchi, T.,

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Matsumoto, M., & Higashikawa, Y. (2004). Compactness as a strategy in a soccer match in relation to a change in offence and defense. *J Sports Sci*, 22(6), 515.
- Oliva-Lozano, J. M., Rojas-Valverde, D., Gómez-Carmona, C. D., Fortes, V., & Pino-Ortega, J. (2020). Impact Of Contextual Variables On The Representative External Load Profile Of Spanish Professional Soccer Match-Play: A Full Season Study. *European Journal of Sport Science*, 1-22. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1751305>
- Olthof, S. B., Frencken, W. G., & Lemmink, K. A. (2018). Match-derived relative pitch area changes the physical and team tactical performance of elite soccer players in small-sided soccer games. *Journal of sports sciences*, 36(14), 1557–1563. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1403412>
- Osgnach, C., Poser, S., Bernardini, R., Rinaldo, R., & Di Prampero, P. E. (2010). Energy Cost and Metabolic Power in Elite Soccer: A New Match Analysis Approach. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(1), 170-178. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181ae5cfd>
- Otero-Saborido, F. M., & González-Jurado, J. A. (2015). Design

and validation of a tool for the formative assessment of invasion games. *Journal of Physical Education and Sport*, 15(2), 254.

Palucci Vieira, L. H., Aquino, R., Moura, F. A., Barros, R. M. L. de, Arpini, V. M., Oliveira, L. P., Bedo, B. L. S., & Santiago, P. R. P. (2019). Team Dynamics, Running, and Skill-Related Performances of Brazilian U11 to Professional Soccer Players During Official Matches: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(8), 2202-2216. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002577>

Parra Rojas, N. (2016). Respuesta cardíaca en jugadores de fútbol de tercera división durante partidos oficiales y entrenamientos. *Proyecto de investigación:*

Passos, P., Araújo, D., Davids, K., Gouveia, L., Milho, J., & Serpa, S. (2008). Information-governing dynamics of attacker–defender interactions in youth rugby union. *Journal of Sports Sciences*, 26(13), 1421–1429. <https://doi.org/10.1080/02640410802208986>

Pettersen, S. A., & Brenn, T. (2019). Activity Profiles by Position in Youth Elite Soccer Players in Official Matches. *Sports Medicine International Open*, 03(01), E19-E24. <https://doi.org/10.1080/24748867.2019.1644444>

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

doi.org/10.1055/a-0883-5540

- Pino-Ortega, J., García-Rubio, J., & Ibáñez, S. J. (2018). Validity and reliability of the WIMU inertial device for the assessment of the vertical jump. *PeerJ*, *30*(6), e4709. <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.4709>
- Pino-Ortega, J., Rojas-Valverde, D., Gómez-Carmona, C. D., Bastida-Castillo, A., Hernández-Belmonte, A., García-Rubio, J., Nakamura, F. Y., & Ibáñez, S. J. (2019). Impact of Contextual Factors on External Load During a Congested-Fixture Tournament in Elite U'18 Basketball Players. *Frontiers in Psychology*, *10*, 1100. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01100>
- Pirnay, F., Geurde, P., & Marechal, R. (1991). Contraintes physiologiques d'un match de football. *ADEPS Sport*, *7*, 71–79.
- Pons, E., García-Calvo, T., Resta, R., Blanco, H., López del Campo, R., Díaz García, J., & Pulido, J. J. (2019). A comparison of a GPS device and a multi-camera video technology during official soccer matches: Agreement between systems. *PLOS ONE*, *14*(8), e0220729. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220729>

- Potiron-Josse, M., Hubert, M., Ginet, J., & ET SUAUDEAU, M. (1980). Etude télémétrique de la fréquence cardiaque chez le footballeur de haut-niveau lors de l'entraînement et lors de matches amicaux. *Médecine du Sport*, 54(5), 291–295.
- Pumpria, J., Howorka, K., Groves, D., Chester, M., & Nolan, J. (2002). Functional assessment of heart rate variability: Physiological basis and practical applications. *International journal of cardiology*, 84(1), 1–14. [https://doi.org/10.1016/S0167-5273\(02\)00057-8](https://doi.org/10.1016/S0167-5273(02)00057-8)
- Quigg, R., Gray, A., Reeder, A. I., Holt, A., & Waters, D. L. (2010). *Using accelerometers and GPS units to identify the proportion of daily physical activity located in parks with playgrounds in New Zealand children*. 50(5-6), 235-240. <https://doi.org/10.1016/j.yjmed.2010.02.002>
- Rago, V., Krstrup, P., Martín-Acero, R., Rebelo, A., & Mohr, M. (2019). Training load and submaximal heart rate testing throughout a competitive period in a top-level male football team. *Journal of Sports Sciences*, 1-8. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1618534>
- Rampinini, E., Impellizzeri, F. M., Castagna, C., Abt, G.,

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chamari, K., Sassi, A., & Marcora, S. M. (2007). Factors influencing physiological responses to small-sided soccer games. *Journal of Sports Sciences*, 25(6), 659-666. <https://doi.org/10.1080/02640410600811858>
- Raper, D. P., Witchalls, J., Philips, E. J., Knight, E., Drew, M. K., & Waddington, G. (2017). Use of a tibial accelerometer to measure ground reaction force in running: A reliability and validity comparison with force plates. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(1), 84-88. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.06.010>
- Reche-Soto, P., Cardona, D., Díaz, A., Gómez-Carmona, C. D., & Pino-Ortega, J. (2019a). Demandas tácticas de juegos reducidos en fútbol: Influencia de la tecnología utilizada. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 19(76), 729. <https://doi.org/10.15366/rimcafd2019.76.011>
- Reche-Soto, P., Cardona, D., Díaz, A., Gómez-Carmona, C., & Pino-Ortega, J. (2020). Acelt y player load: dos variables para la cuantificación de la carga neuromuscular. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 20(77), 167-183. <https://doi.org/10.15366/rimcafd2020.77.011>

org/10.15366/rimcafd2020.77.011

Reche-Soto, Pedro, Cardona-Nieto, D., Diaz-Suarez, A., Bastida-Castillo, A., Gomez-Carmona, C., Garcia-Rubio, J., & Pino-Ortega, J. (2019b). Player Load and Metabolic Power Dynamics as Load Quantifiers in Soccer. *Journal of Human Kinetics*, 69(1), 259-269. <https://doi.org/10.2478/hukin-2018-0072>

Reche-Soto, Pedro, Cardona-Nieto, D., Díaz-Suárez, A., Gómez-Carmona, C. D., & Pino-Ortega, J. (2019c). Análisis de las demandas físicas durante juegos reducidos en fútbol semi-profesional en función del objetivo y la tecnología de seguimiento utilizada. *E-balonmano.com: Revista de Ciencias del Deporte*, 15 (1), 23-36. (2019). ISSN 1885 – 7019

Reenalda, J., Maartens, E., Buurke, J. H., & Gruber, A. H. (2019). Kinematics and shock attenuation during a prolonged run on the athletic track as measured with inertial magnetic measurement units. *Gait & Posture*, 68, 155-160. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.11.020>

Reenalda, J., Maartens, E., Homan, L., & Buurke, J. H. (Jaap). (2016). Continuous three dimensional analysis of run-

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ning mechanics during a marathon by means of inertial magnetic measurement units to objectify changes in running mechanics. *Journal of Biomechanics*, 49(14), 3362-3367. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2016.08.032>
- Reilly, T. (1976). A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. *J Human Movement Studies*, 2, 87-97.
- Reilly, T., Bangsbo, J., & Franks, A. (2000). Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18(9), 669-683. <https://doi.org/10.1080/02640410050120050>
- Reynolds, B. B., Patrie, J., Henry, E. J., Goodkin, H. P., Broshpek, D. K., Wintermark, M., & Druzgal, T. J. (2016). Practice type effects on head impact in collegiate football. *Journal of Neurosurgery*, 124(2), 501-510. <https://doi.org/10.3171/2015.5.JNS15573>
- Rico-González, M., Los Arcos, A., Nakamura, F. Y., Moura, F. A., & Pino-Ortega, J. (2019). The use of technology and sampling frequency to measure variables of tactical positioning in team sports: A systematic review. *Research in Sports Medicine*, 1-14. <https://doi.org/10.1080/15438>

627.2019.1660879

- Rico-González, M., Pino-Ortega, J., Nakamura, F. Y., Moura, F. A., & Los Arcos, A. (2020). Identification, Computational Examination, Critical Assessment and Future Considerations of Distance Variables to Assess Collective Tactical Behaviour in Team Invasion Sports by Positional Data: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(6), 1952. <https://doi.org/10.3390/ijerph17061952>
- Rienzi, E., Drust, B., Reilly, T., Carter, J. E. [xdot] L., & Martin, A. (2000). Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 40(2), 162.
- Roberts, S., Trewartha, G., & Stokes, K. (2006). A Comparison of Time–Motion Analysis Methods for Field-Based Sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(4), 388-399. <https://doi.org/10.1123/ijsp.1.4.388>
- Rogalski, B., Dawson, B., Heasman, J., & Gabbett, T. J. (2013). Training and game loads and injury risk in elite

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Australian footballers. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(6), 499-503. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.12.004>
- Rowlands, A. V., Fraysse, F., Catt, M., Stiles, V. H., Stanley, R. M., Eston, R. G., & Olds, T. S. (2015). Comparability of Measured Acceleration from Accelerometry-Based Activity Monitors: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(1), 201-210. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000394>
- Russell, M., Sparkes, W., Northeast, J., & Kilduff, L. P. (2015). Responses to a 120 min reserve team soccer match: A case study focusing on the demands of extra time. *Journal of sports sciences*, 33(20), 2133–2139. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1064153>
- Sampaio, J. E., Lago, C., Gonçalves, B., Maçãs, V. M., & Leite, N. (2014). Effects of pacing, status and unbalance in time motion variables, heart rate and tactical behaviour when playing 5-a-side football small-sided games. *Journal of science and medicine in sport*, 17(2), 229–233. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.04.005>
- Sampaio, J., & Maçãs, V. (2012). Measuring Tactical Behaviour in

Football. *International Journal of Sports Medicine*, 33(05), 395-401. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1301320>

Sánchez-Sánchez, J., Yagüe, J. M., Fernández, R. C., & Pettisco, C. (2014). Efectos de un entrenamiento con juegos reducidos sobre la técnica y la condición física de jóvenes futbolistas. [Effects of small-sided games training on technique and physical condition of young footballers]. *RICYDE. Revista internacional de ciencias del deporte*, 10(37), 221-234. <https://doi.org/10.5232/ricyde2014.03704>

Sanders, G. J., Roll, B., & Peacock, C. A. (2017). Maximum Distance and High-Speed Distance Demands by Position in NCAA Division I Collegiate Football Games: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(10), 2728-2733. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002105>

Santos, P., & Soares, J. (2002). Determinação do limiar aeróbio-anaeróbio em futebolistas de elite, em função da posição ocupada na equipa. *A investigação em futebol: estudos ibéricos*, 137-143.

Sarmiento, H., Marcelino, R., Anguera, M. T., Campaniço, J., Matos, N., & Leitão, J. C. (2014). Match analysis in foot-

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ball: A systematic review. *Journal of Sports Sciences*, 32(20), 1831-1843. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.898852>
- Schöllhorn, W. (2003). Coordination dynamics and its consequences on sports. *International Journal of Computer Science in Sport*, 2(2), 40–46.
- Scott, B. R., Lockie, R. G., Knight, T. J., Clark, A. C., & Janse de Jonge, X. A. K. (2013). A Comparison of Methods to Quantify the In-Season Training Load of Professional Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(2), 195-202. <https://doi.org/10.1123/ijsp.8.2.195>
- Scott, M. T., Scott, T. J., & Kelly, V. G. (2016). The validity and reliability of global positioning systems in team sport: a brief review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(5), 1470-1490. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001221>
- Seliger, V. (1968). Heart rate as an index of physical load in exercise. *Scripta medica*, 41(23), 1–240.
- Shafizadeh, M., Davids, K., Correia, V., Wheat, J., & Hizan, H. (2016). Informational constraints on interceptive ac-

tions of elite football goalkeepers in 1v1 dyads during competitive performance. *Journal of Sports Sciences*, 34(17), 1596-1601. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1125011>

Sijtsma, A., Schierbeek, H., Goris, A. H. C., Joosten, K. F. M., van Kessel, I., Corpeleijn, E., & Sauer, P. J. J. (2013). Validation of the TracmorD Triaxial Accelerometer to Assess Physical Activity in Preschool Children: Accelerometer Validation in Preschoolers. *Obesity*, 21, 1877-1883. <https://doi.org/10.1002/oby.20401>

Silva, P., Duarte, R., Sampaio, J., Aguiar, P., Davids, K., Araújo, D., & Garganta, J. (2014a). Field dimension and skill level constrain team tactical behaviours in small-sided and conditioned games in football. *Journal of sports sciences*, 32(20), 1888–1896. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.961950>

Silva, P., Duarte, R., Sampaio, J., Aguiar, P., Davids, K., Araújo, D., & Garganta, J. (2014b). Field dimension and skill level constrain team tactical behaviours in small-sided and conditioned games in football. *Journal of Sports Sciences*, 32(20), 1888-1896. <https://doi.org/10.1080/0>

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2640414.2014.961950

- Sinclair, J., Toth, J., & Hobbs, S. J. (2015). The influence of energy return and minimalist footwear on the kinetics and kinematics of depth jumping in relation to conventional trainers. *Kineziologija*, 47(1), 11–18.
- Sinclair, W. H., Kerr, R. M., Spinks, W. L., & Leicht, A. S. (2009). Blood lactate, heart rate and rating of perceived exertion responses of elite surf lifesavers to high-performance competition. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(1), 101-106. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.10.008>
- Sonderegger, K., Tschopp, M., & Taube, W. (2016). The Challenge of Evaluating the Intensity of Short Actions in Soccer: A New Methodological Approach Using Percentage Acceleration. *Plos One*, 11(11), e0166534. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166534>
- Sparks, M., Coetzee, B., & Gabbett, T. J. (2016). Internal And External Match Loads Of University-Level Soccer Players: A Comparison Between Methods. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001560>

- Staunton, C., Wundersitz, D., Gordon, B., Custovic, E., Stanger, J., & Kingsley, M. (2018). The Effect of Match Schedule on Accelerometry-Derived Exercise Dose during Training Sessions throughout a Competitive Basketball Season. *Sports*, 6(3), 69. <https://doi.org/10.3390/sports6030069>
- Stein, M., Janetzko, H., Seebacher, D., Jäger, A., Nagel, M., Hölsch, J., Kosub, S., Schreck, T., Keim, D., & Grossniklaus, M. (2017). How to Make Sense of Team Sport Data: From Acquisition to Data Modeling and Research Aspects. *Data*, 2(1), 2. <https://doi.org/10.3390/data2010002>
- Stevens, T. G. A., de Ruiter, C. J., van Niel, C., van de Rhee, R., Beek, P. J., & Savelsbergh, G. J. P. (2014). Measuring Acceleration and Deceleration in Soccer-Specific Movements Using a Local Position Measurement (LPM) System. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 446-456. <https://doi.org/10.1123/ijsspp.2013-0340>
- Suarez-Arrones, L., Arenas, C., López, G., Requena, B., Terrill, O., & Mendez-Villanueva, A. (2014). Positional Dif-

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ferences in Match Running Performance and Physical Collisions in Men Rugby Sevens. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(2), 316-323. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0069>
- Suarez-Arrones, L. J., Nuñez, F. J., Portillo, J., & Mendez-Villanueva, A. (2012). Running Demands and Heart Rate Responses in Men Rugby Sevens: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(11), 3155-3159. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318243fff7>
- Sweet, T. W., Foster, C., McGuigan, M. R., & Brice, G. (2004). Quantitation of resistance training using the session rating of perceived exertion method. *The journal of strength & conditioning research*, 18(4), 796-802. <https://doi.org/10.1519/00124278-200411000-00020>
- Thompson, C. J., Luck, L. M., Keshwani, J., Pitla, S. K., & Karr, L. K. (2018). Location on the Body of a Wearable Accelerometer Affects Accuracy of Data for Identifying Equine Gaits. *Journal of Equine Veterinary Science*, 63, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2017.12.002>
- Torreño, N., Munguía-Izquierdo, D., Coutts, A., de Villarreal, E. S., Asian-Clemente, J., & Suarez-Arrones, L. (2016).

Relationship Between External and Internal Loads of Professional Soccer Players During Full Matches in Official Games Using Global Positioning Systems and Heart-Rate Technology. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(7), 940-946. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0252>

Torres-Ronda, L., Ric, A., Llabres-Torres, I., de las Heras, B., & i del Alcazar, X. S. (2016). Position-dependent cardiovascular response and time-motion analysis during training drills and friendly matches in elite male basketball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(1), 60-70. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001043>

Travassos, B., Araújo, D., Duarte, R., & McGarry, T. (2012). Spatiotemporal coordination behaviors in futsal (indoor football) are guided by informational game constraints. *Human Movement Science*, 31(4), 932–945. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2011.10.004>

Tschiene, P. (1996). Influencia de la carga de condición física sobre la perfección de técnica y táctica. *I Jornadas sobre entrenamiento de deportes colectivos*.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Valter, D. S., Adam, C., Barry, M., & Marco, C. (2006). Validation of Prozone ®: A new video-based performance analysis system. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 6(1), 108-119. <https://doi.org/10.1080/24748668.2006.11868359>
- Van Gool, D., Van Gerven, D., & Boutmans, J. (1988). The physiological load imposed on soccer players during real match-play. *Science and football*, 1, 51–59.
- Van Hees, V. T., Slootmaker, S. M., De Groot, G., Van Mechelen, W., & Van Lummel, R. C. (2009). Reproducibility of a Triaxial Seismic Accelerometer (DynaPort): *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(4), 810-817. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818ff636>
- Varley, M. C., & Aughey, R. J. (2013). Acceleration profiles in elite Australian soccer. *International journal of sports medicine*, 34(01), 34–39.
- Vescovi, J. D., Rupf, R., Brown, T. D., & Marques, M. C. (2011). Physical performance characteristics of high-level female soccer players 12-21 years of age: Performance characteristics of female soccer players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21(5), 670-

678. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01081.x>
- Vigne, G., Gaudino, C., Rogowski, I., Alloatti, G., & Hautier, C. (2010). Activity Profile in Elite Italian Soccer Team. *International Journal of Sports Medicine*, 31(05), 304-310. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248320>
- Vilar, L., Duarte, R., Silva, P., Chow, J. Y., & Davids, K. (2014). The influence of pitch dimensions on performance during small-sided and conditioned soccer games. *Journal of Sports Sciences*, 32(19), 1751-1759. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.918640>
- Wade, A. (1998). *Principles of Team Play*. Reedswain Inc.
- Waldron, M., Twist, C., Highton, J., Worsfold, P., & Daniels, M. (2011). Movement and physiological match demands of elite rugby league using portable global positioning systems. *Journal of Sports Sciences*, 29(11), 1223-1230. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.587445>
- Ward, P. A., Ramsden, S., Coutts, A. J., Hulton, A. T., & Drust, B. (2018). Positional differences in running and nonrunning activities during elite american football training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(7), 2072-2084. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002294>

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Weston, M., Bird, S., Helsen, W., Nevill, A., & Castagna, C. (2006). The effect of match standard and referee experience on the objective and subjective match workload of English Premier League referees. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9(3), 256–262. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.03.022>
- 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(5), 531-536. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.09.002>
- Wu, F., Zhang, K., Zhu, M., Mackintosh, C., Rice, T., Gore, C., ... & Holthous, S. (2007, September). An investigation of an integrated low-cost GPS, INS and magnetometer system for sport applications. In *Proceedings of the 20th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2007)* (pp. 113-120).
- Wundersitz, D. (2015). *Accelerometer validity to measure and classify movement in team sports* (No. PhD). Deakin Univeristy.

- Yang, C.-C., & Hsu, Y.-L. (2010). A Review of Accelerometry-Based Wearable Motion Detectors for Physical Activity Monitoring. *Sensors*, *10*(8), 7772-7788. <https://doi.org/10.3390/s100807772>
- Yi, Q., Gómez-Ruano, M.-Á., Liu, H., Zhang, S., Gao, B., Wunderlich, F., & Memmert, D. (2020). Evaluation of the Technical Performance of Football Players in the UEFA Champions League. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(2), 604. <https://doi.org/10.3390/ijerph17020604>
- Yue, Z., Broich, H., Seifriz, F., & Mester, J. (2008). Mathematical analysis of a soccer game. Part I: Individual and collective behaviors. *Studies in applied mathematics*, *121*(3), 223–243.
- Zhang, J., Edwan, E., Zhou, J., Chai, W., & Loffeld, O. (2012). Performance investigation of barometer aided GPS/MEMS-IMU integration. *Proceedings of the 2012 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium*, 598-604. <https://doi.org/10.1109/PLANS.2012.6236933>
- Zhao, H., & Wang, Z. (2012). Motion Measurement Using Inertial Sensors, Ultrasonic Sensors, and Magnetometers

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

With Extended Kalman Filter for Data Fusion. *IEEE Sensors Journal*, 12(5), 943-953. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2011.2166066>

Zurutuza, U., & Castellano, J. (2020). Comparación de la respuesta física, en términos absolutos y relativos a la competición, de diferentes demarcaciones en tareas jugadas de fútbol. *Cuadernos de Psicología del Deporte*, 20(1), 190-200. <https://doi.org/10.6018/cpd.402291>

GLOSARIO DE TÉRMINOS

8



8. GLOSARIO DE TÉRMINOS

ANT+. Se trata de una tecnología de comunicación para que los dispositivos puedan transmitir información de uno a otro de forma inalámbrica. Presenta una serie de ventajas como: solo consume batería del dispositivo cuando transmite información, es posible conectar más de dos dispositivos al mismo tiempo y es un tipo de tecnología muy utilizado por una gran variedad de dispositivos, lo que permite trabajar con diferentes tipos de sensores de forma integrada.

DSER. Corresponde con las siglas de “Dispositivos de Seguimiento Electrónicos del Rendimiento”. Son un grupo de dispositivos desarrollados para llevar a cabo un seguimiento del jugador tanto en entrenamiento como en competición para mejorar su rendimiento.

EPTS. Corresponde con las siglas de “*Electronic Performance Tracking Systems*”, en español “Dispositivos de Seguimiento Electrónicos del Rendimiento”. Son el grupo

de tecnología desarrollada para hacer un seguimiento de jugadores con el fin de mejorar su rendimiento. Principalmente hace un seguimiento de la posición del jugador y del balón, pudiéndose utilizar simultáneamente junto a otros instrumentos microelectromecánicos (acelerómetros, giróscopos, etc.).

FIFA. Corresponde con las siglas de “*Fédération Internationale de Football Association*” en español “Federación Internacional de Fútbol Asociado”. Es la institución que gobierna las federaciones de fútbol a nivel mundial. Se fundó el 21 de mayo de 1.904 y tiene su sede en Zúrich, Suiza. Forma parte de la IFAB, organismo encargado de modificar las reglas de juego.

GNSS. Corresponde a las siglas de “*Global Navigation Satellite System*”, en español “Sistema Global de Navegación por Satélite”. Es un sistema de navegación basado en satélites artificiales que puede proporcionar información sobre la posición y la hora con una gran exactitud en cualquier parte del mundo y las 24 horas del día.

GPS. Corresponde a las siglas de “*Global Positioning System*”, en español “Sistema de Posicionamiento Global”. Se trata de una constelación de satélites de los Estados Unidos de América. Al tratarse de la red de satélites con mejor rendimiento en el mundo, sus siglas se han estandarizado para referirnos a la tecnología de navegación por satélite.

IFAB. Corresponde a las siglas de “*International Football Association Board*”. Es una asociación internacional formada por las cuatro asociaciones de fútbol del Reino Unido y la FIFA. Es la encargada de definir las reglas del fútbol a nivel mundial y sus futuras modificaciones. Fue fundada en 1.886 en Londres, Inglaterra.

IMU. Corresponde a las siglas de “*Inertial Measurement*

8. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Unit", en español "Unidad de Medida Inercial", conocidos comúnmente como dispositivos inerciales o microtecnología. Se trata de un dispositivo que consta de varios sensores y chipset: acelerómetros 3D, giróscopos 3D, barómetros, magnetómetros 3D, tecnología de conexión bluetooth, ANT+, chipset *GNSS*, chipset *LPS*, etc.

LPS. Corresponde a las siglas de "*Local Position System*", en español "Sistema de Posicionamiento Local". Se trata de un sistema *EPTS* que fue desarrollado para suplir la problemática y limitaciones de la tecnología *GNSS*. Su sistema de referencia es un sistema de antenas fijas o portátiles colocadas alrededor de la zona de análisis.

UWB. Corresponde a las siglas de "*Ultra Wide Band*", en español "Banda Ultra Ancha". Se trata de una tecnología de radiofrecuencia relativamente reciente con aplicaciones de radar, comunicación y localización. Este tipo de tecnología ocupada bandas de frecuencia de al menos 0,5 GHz.

ARTÍCULO 1: ANALYSIS OF PHYSICAL DEMANDS OF SMALL-SIDED GAMES IN SEMIPROFESSIONAL-LEVEL FOOTBALL IN FUNCTION OF THE OBJECTIVE AND THE TRACKING TECHNOLOGY UTILISED

E-Balonmano.com: Revista de Ciencias del Deporte

Objectives: The objectives of the present research were: (i) to analyse the dynamics of total distance and mean velocity in relation to the utilised tracking technology (Global Navigation Satellite System, GNSS; and Ultra-Wide Band, UWB) and (ii) to describe the physical demands performed during the small-sided games (SSG). Methods: Sixteen semi-professional national-level football players (Age: 23.6 ± 3.3 years; Body mass: 78.1 ± 5.2 kg; Height: 1.8 ± 0.1 m) performed 4 SSG with different aims: (a) maintain the ball; (b) maintain and progress; (c) maintain, progress and ending in mini-goals and (d) maintain, progress and ending in a goal with a goalkeeper. To data acquisition, a WIMU PROTM inertial device with dual tracking technology (GNSS and UWB) was used. Results: The main results were: (1) a nearly perfect correlation in the values obtained by both technologies (total distance: $r^2=.987$; mean velocity: $r^2=.994$) and (2) statistical differences between the 4 SSGs in total distance, relative distance, high intensity distance (>16 km/h), sprint distance (>21 km/h), mean velocity and High Metabolic Load Distance per-min ($p<0.01$; $F=34.33-4.57$; $d=2.13-0.80$). No statistical differences were found in accelerations/min and decelerations/min ($p=0.27-0.08$; $F=1.31-2.30$; $d=0.31-0.45$). Conclusions: Both tracking technologies could be used to quantify the physical demands. In relation to the aim of small-sided games, this was determinant in the physical demands. Thus, the analysis of game-based tasks is very important to control their effects for a correct application during the training sessions.

http://www.e-balonmano.com/ojs/index.php/revista/article/view/419/pdf_1

ARTÍCULO 2: ACELT AND PLAYER LOAD: TWO VARIABLES TO QUANTIFY NEUROMUSCULAR LOAD

Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

The objectives of this study were: (i) describe the dynamics of Player Load and AceIT and (ii) analyze the neuromuscular load in different anatomical locations (scapulae, center of mass, knee and ankle) in an incremental test in treadmill. Twenty-three semiprofessional male football players participated voluntarily in this research (age: 22.56 ± 4.8 years; body mass: 75.5 ± 5.5 kg; height: 1.79 ± 0.5 m). Four WIMUPRO™ inertial devices were utilized for recording both variables. The main results indicated that: (1) exists a nearly perfect relation between both variables ($r > 0.931$), (2) the highest values were in knee (PLRT = 8.01 ± 2.76 ; AceIT = $2.70 \pm .50$) and in ankle (PL = 7.85 ± 2.27 ; AceIT = $2.87 \pm .49$) and (3) a great variability was found between athletes. In conclusion, Player Load and AceIT are two valid variables to analyze and quantify neuromuscular demands.

<http://cdeporte.rediris.es/revista/revista77/artacelt1110e.pdf>

ARTÍCULO 3: PLAYER LOAD AND METABOLIC POWER DYNAMICS AS LOAD QUANTIFIERS IN SOCCER

Journal of Human Kinetics

There has recently been an increase in quantification and objective analysis of soccer performance due to improvements in technology using load indexes such as Player Load (PL) and Metabolic Power (MP). The objectives of this study were: (1) to describe the performance of PL and MP in competition according to the specific role, match-to-match variation, periods of play, game location and match status according to game periods, and (2) to analyze the relationship between both indexes. Twenty-one national-level soccer players were distributed in the following specific positional roles: external defenders (ED) (n = 4), central defenders (CD) (n = 4), midfielders (M) (n = 5), external midfielders (EM) (n = 4) and attackers (A) (n = 4). A total of 12 matches played by a Spanish Third Division team during the 2016/2017 season were analyzed. WIMU PROTM inertial devices (RealTrack System, Almeria, Spain) were used for recording the data. The main results were: (1) a performance reduction in both variables over the course of match time, (2) significant differences in both variables based on the specific position, (3) differences in physical demands during the season matches, (4) winning during a game period and the condition of being the visitor team provoked higher demands, and (5) a high correlation between both variables in soccer. In conclusion, different contextual variables influence the external load demands; both indexes are related so they could be used for external load quantification, and it is necessary to analyze physical demands of the competition for a specific and individualized load design in training sessions.

<http://www.johk.pl/files/10078-69-2019-v69-2019-25.pdf>

ARTÍCULO 4: TACTICAL DEMANDS OF SMALL-SIDED GAMES IN FOOTBALL: INFLUENCE OF TRACKING TECHNOLOGY

Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

This article analyses the tactical behaviour in Small-Sided Games (SSGs) over the geometrical centre and surface area according to: (1) Tracking technology: Global Position System (GPS) and Ultra-Wide Band (UWB); (2) playing phase (attack vs defence) (3) Objective of SSG. Sixteen semiprofessional football players participated in this research (Age: 23.6 ± 3.3 years old; Weight: 78.1 ± 5.2 kg; Height: 1.8 ± 0.1 meters). WIMU PROTM inertial devices (RealTrack System, Almeria, Spain) was used for recording process. The main results show significant differences: (1) between tracking technologies (GPS and UWB) in the surface area, (2) between playing phases; and (3) between all activities. In conclusion, the data obtained by both technologies cannot compare due to the found differences, being very important the analysis in relation to the objective and the playing phase of SSGs for their influence in the tactical behavior to achieve a sport performance enhancement.

<http://cdeporte.rediris.es/revista/revista76/artanalisis1071e.pdf>

ARTÍCULO 5: SPATIAL PERCEPTION OF SEMI-PROFESSIONAL SOCCER PLAYERS IN SMALL-SIDED GAMES: A CASE STUDY

Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

This study aims to: i) describe the objective tactical demands (surface area occupied by team, AOE) and subjective (spatial perception of occupied area, PSEO), ii) identify the inter-subjects variability and the relationship between AOE and PSEO iii) to compare the demands between offensive and defensive phases during small-sided games. Twelve semi-professional football players were tracked using WIMU PRO®. The results indicated an AOE (attack=257.6±60.6; defense=120.3±37.8 m²) and PSEO (attack=3.5±0.7; 2.7±0.6 a.u.). Differences were found between attack and defense phase in both variables ($p>0.001$; AOE, $d=2.72$; PSEO, $d=1.23$) and high relationship between both indicators ($r=0.92$). In conclusion, the variables AEO and PSEO discriminated the effect of the game phase and the training day. Future research with a larger sample size is necessary to confirm the validity of the PSEO.

<http://cdeporte.rediris.es/revista/inpress/artpercepcion1334e.pdf>