



UNIVERSIDAD DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

TESIS DOCTORAL

La importancia de individualizar la velocidad en fútbol: una propuesta para
el cálculo personalizado de la velocidad máxima en fútbol

D. Francisco Javier Díaz Soto

2024



UNIVERSIDAD DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

TESIS DOCTORAL

La importancia de individualizar la velocidad en fútbol: una propuesta para
el cálculo personalizado de la velocidad máxima en fútbol

Autor: D. Francisco Javier Díaz Soto

Director/es: Dr. José Pino Ortega, y Dr. Markel Rico González



UNIVERSIDAD DE
MURCIA

**DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD
DE LA TESIS PRESENTADA EN MODALIDAD DE COMPENDIO O ARTÍCULOS PARA
OBTENER EL TÍTULO DE DOCTOR**

Aprobado por la Comisión General de Doctorado el 19-10-2022

D./Dña. Francisco Javier Díaz Soto

doctorando del Programa de Doctorado en

Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

de la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad Murcia, como autor/a de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor y titulada:

LA IMPORTANCIA DE INDIVIDUALIZAR LA VELOCIDAD EN FÚTBOL: UNA PROPUESTA PARA EL CÁLCULO PERSONALIZADO DE LA VELOCIDAD MÁXIMA EN FÚTBOL.

y dirigida por,

D./Dña. José Pino Ortega

D./Dña. Markel Rico González

DECLARO QUE:

La tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la Ley de Propiedad Intelectual (R.D. legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, modificado por la Ley 2/2019, de 1 de marzo, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita, cuando se han utilizado sus resultados o publicaciones.

Además, al haber sido autorizada como compendio de publicaciones o, tal y como prevé el artículo 29.8 del reglamento, cuenta con:

- La aceptación por escrito de los coautores de las publicaciones de que el doctorando las presente como parte de la tesis.
- En su caso, la renuncia por escrito de los coautores no doctores de dichos trabajos a presentarlos como parte de otras tesis doctorales en la Universidad de Murcia o en cualquier otra universidad.

Del mismo modo, asumo ante la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad del contenido de la tesis presentada, en caso de plagio, de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

En Murcia, a 10 de junio de 2024.

Fdo.: Francisco Javier Díaz Soto (7758002-Q)

Esta DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD debe ser insertada en la primera página de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor.

Información básica sobre protección de sus datos personales aportados	
Responsable:	Universidad de Murcia. Avenida teniente Flomesta, 5. Edificio de la Convalecencia. 30003; Murcia. Delegado de Protección de Datos: dpd@um.es
Legitimación:	La Universidad de Murcia se encuentra legitimada para el tratamiento de sus datos por ser necesario para el cumplimiento de una obligación legal aplicable al responsable del tratamiento. art. 6.1.c) del Reglamento General de Protección de Datos
Finalidad:	Gestionar su declaración de autoría y originalidad
Destinatarios:	No se prevén comunicaciones de datos
Derechos:	Los interesados pueden ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación, oposición, limitación del tratamiento, olvido y portabilidad a través del procedimiento establecido a tal efecto en el Registro Electrónico o mediante la presentación de la correspondiente solicitud en las Oficinas de Asistencia en Materia de Registro de la Universidad de Murcia

AGRADECIMIENTOS

A mis directores de tesis, **Dr. José Pino Ortega y Dr. Markel Rico González** por toda la pasión, esfuerzo, respeto y confianza hacia mi persona en estos años. Sois un ejemplo de profesionalidad y empatía, la cual espero seguir en mi carrera profesional.

Al **Real Murcia CF SAD** por darme la oportunidad en el 2017 de trabajar en las bases del club y permitir mi desarrollo profesional como Preparador Físico estos años.

A todos los **jugadores y staff técnicos** con los que he compartido tantos momentos durante estas temporadas. De todos me llevo un aprendizaje y cariño.

A **mis padres**, por enseñarme desde pequeño que los sueños se pueden cumplir, con trabajo y honradez, dando tu mejor versión día tras día.

A **mis abuelas**, que empezaron el camino y ahora podrán ver los resultados desde arriba.

A mi hermano **David** por apoyarme y guiarme en cada paso que doy en la vida de manera incondicional.

A **mi sobrina**, por alegrarme los días duros con una simple sonrisa.

A mi pareja **Esther**, la mejor compañera de vida que se puede tener. Por empezar juntos este proyecto y no dejarme caer en los momentos de adversidad. Todo el esfuerzo de estos años tendrá su recompensa. Gracias por estar.

Gracias a todos, de corazón

ÍNDICE

BLOQUE I. CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.1. Electronic Performance and Tracking Systems.....	6
1.1.1. Sistemas de video semi-automático.	6
1.1.1.1. <i>Modo de registro de los datos.....</i>	7
1.1.1.2. <i>Factores que influyen en el registro.....</i>	8
1.1.1.3. <i>Ventajas y desventajas.....</i>	9
1.1.2. Sistemas de Posicionamiento Global	10
1.1.2.1. <i>Modo de registro de los datos.....</i>	10
1.1.2.2. <i>Factores que influyen en el registro.....</i>	12
1.1.2.3. <i>Ventajas y desventajas.....</i>	13
1.1.3. Sistemas de Posicionamiento Local	14
1.1.3.1. <i>Modo de registro de los datos.....</i>	15
1.1.3.2. <i>Factores que influyen en el registro.....</i>	16
1.1.3.3. <i>Ventajas y desventajas.....</i>	17
1.1.4. Sensores micro electromecánicos	18
1.1.4.1. <i>Modo de registro de los datos.....</i>	18
1.1.4.2. <i>Factores que influyen en el registro.....</i>	20
1.1.4.3. <i>Ventajas y desventajas.....</i>	21
1.2. Tipos de variables registradas	22
1.2.1. Variables basadas en datos de sensores de posicionamiento.	23
1.2.1.1. <i>Variables cinemáticas.</i>	23
1.2.1.2. <i>Variables tácticas.....</i>	28
1.2.2. Variables neuromusculares basadas en sensores inerciales.	31
1.2.3. Variables fisiológicas basadas en otros sensores.....	33
1.3. Bibliografía.....	35
BLOQUE II. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	50
2.1. Hipótesis	52
2.2. Objetivos.	52
2.2.1. Generales.....	52
2.2.2. Específicos.	52

BLOQUE III. ARTÍCULOS CIENTÍFICOS	55
3.1. A systematic review of velocity and accelerometer thresholds in soccer ..	57
3.1.1. Introduction	57
3.1.2. Method	58
3.1.2.1. <i>Design.....</i>	58
3.1.2.2. <i>Screening strategy and study selection.....</i>	59
3.1.2.3. <i>Data analysis</i>	60
3.1.2.4. <i>Methodological Assessment.....</i>	60
3.1.3. Results	60
3.1.3.1. <i>Identification and selection of studies</i>	60
3.1.3.2. <i>Study characteristics</i>	61
3.1.4. Discussion.....	69
3.1.5. Limitations	73
3.1.6. Conclusion.....	74
3.1.7. References	74
3.2. ¿Existe una relación entre la valoración objetiva de la velocidad y la percepción del cuerpo técnico?	87
3.2.1. Introducción.....	87
3.2.2. Método.....	88
3.2.2.1. <i>Participantes</i>	88
3.2.2.2. <i>Instrumento de medida</i>	89
3.2.2.3. <i>Recogida de datos</i>	90
3.2.2.4. <i>Procedimiento</i>	90
3.2.2.5. <i>Procedimiento para conocer la velocidad objetiva</i>	90
3.2.2.6. <i>Procedimiento para conocer la velocidad subjetiva del cuerpo técnico</i>	91
3.2.2.7. <i>Análisis estadístico.....</i>	92
3.2.3. Resultados	93
3.2.4. Discusión	98
3.2.5. Conclusiones.....	99
3.2.6. Bibliografía	100
3.3. Velocidad máxima en fútbol.....	103

3.3.1. Introducción.....	103
3.3.2. Método.....	103
3.3.2.1. <i>Participantes</i>	103
3.3.2.2. <i>Instrumento de medida</i>	104
3.3.2.3. <i>Recogida de datos</i>	105
3.3.2.4. <i>Procedimiento</i>	105
3.3.2.5. <i>Procedimiento para conocer la velocidad objetiva</i>	105
3.3.2.6. <i>Análisis estadístico</i>	106
3.3.3. Resultados	107
3.3.4. Discusión	111
3.3.5. Conclusión.....	113
3.3.6. Limitaciones del estudio y Futuras Aplicaciones	113
3.3.7. Bibliografía.....	113
BLOQUE IV. CONCLUSIONES GENERALES	118
4.1. Discusión general.	120
4.2. Futuras líneas de investigación.....	121
4.3. Conclusiones finales.	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas del Sistemas de Video Semi-automático	9
Tabla 2. Ventajas y desventajas del Sistema de Posicionamiento Global	13
Tabla 3. Ventajas y desventajas del Sistema de Posicionamiento Local	17
Tabla 4. Ventajas y desventajas de los Sistemas Microelectromecánicos	21
Tabla 5. Variables cinemáticas relacionadas con la velocidad.....	24
Tabla 6. Variables cinemáticas relacionadas con la aceleración	25
Tabla 7. Variables cinemáticas relacionadas con la distancia	25
Tabla 8. Variables cinemáticas compuestas.	28
Tabla 9. Sub-variables tácticas.	29
Tabla 10. Variables neuromusculares	32
Tabla 11. Variables fisiológicas de carácter subjetivo.....	33
Tabla 12. Variables fisiológicas de carácter objetivo	34
Tabla 13. Inclusion/exclusion criteria	59
Tabla 14. Classification of speed categories	62
Tabla 15. Classification of acceleration/deceleration categories.....	67
Tabla 16. Datos antropométricos de los participantes en esta investigación	89
Tabla 17. Distribución de los datos de la percepción subjetiva de la velocidad entre los integrantes del cuerpo técnico.	92
Tabla 18. Distribución de los datos de la velocidad entre los diferentes test analizados...93	
Tabla 19. Análisis descriptivo de la percepción subjetiva de la velocidad entre los integrantes del cuerpo técnico.....	94
Tabla 20. Análisis comparativo de la percepción subjetiva de la velocidad entre los integrantes del cuerpo técnico.....	94
Tabla 21. Análisis correlacionar de la percepción subjetiva de la velocidad de los integrantes del cuerpo técnico y a velocidad objetiva.	96
Tabla 22. Datos antropométricos de los participantes en esta investigación	104
Tabla 23. Distribución de los datos de los diferentes test de velocidad.....	106
Tabla 24. Diferencias en la prueba T de medidas repetidas.	108
Tabla 25. Cluster de Jugadores en base a la Velocidad Promedio.	110
Tabla 26. Análisis mediante Anova	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Método de trilateración para determinar el posicionamiento.....	12
Ilustración 2. Variables tácticas.	29
Ilustración 3. Flow diagram.....	61
Ilustración 4. Dispositivo WIMO PROTM, chaleco específico con el dispositivo introducido y software S PROTM.....	90

BLOQUE I. CONTEXTUALIZACIÓN

El fútbol es un deporte colectivo, donde dos equipos de 11 jugadores, de los cuales uno actúa con un rol diferente al resto de jugadores, el portero, se enfrentan con un objetivo contrapuesto (Breddy, 2018; Pacheco, 2007), en un escenario cuyas dimensiones oficiales oscilan entre los 45-90 metros de ancho y 90-120 de largo, y donde los futbolistas intentan introducir un balón en la portería del equipo rival ubicada en lugares opuestos obligando al enfrentamiento de ambos equipos (Gutierrez et al., 2017; IFAB, 2020). En este sentido, y a pesar de que la lógica interna (Parlebas, 2002) y/o restricciones (espacio, tiempo, adversarios y el móvil) (Araújo et al., 2006, 2010; Davids et al., 2013; Gibson, 1979) del deporte en cuestión regula, al menos en cierta medida, el comportamiento de los futbolistas. La naturaleza del fútbol lo categoriza como un deporte basado en incertidumbre, donde el desempeño de los participantes varía (Gil, 2021; Lago-Peñas & García, 2016). De modo que, si bien es cierto que la toma de decisiones es fundamental para el desarrollo del juego, el desempeño de las capacidades físico-fisiológicas que sustenten las habilidades motoras promovidas por la toma de decisiones ha sido uno de los objetivos principales de estudio de los científicos del deporte (García-Calvo et al., 2019; Impellizzeri et al., 2019). Es en este punto donde los investigadores de la comunidad del fútbol plantearon que, a pesar de ser conscientes de la no linealidad del comportamiento, la cuantificación del desempeño de los futbolistas podría establecer, al menos, unas directrices de actuación (Lago-Peñas & Sanromán Álvarez, 2020), que permitieran a los entrenadores establecer unos objetivos de entrenamiento teniendo como referencia las demandas físico-fisiológicas de la competición (Nevado-Garrosa et al., 2015).

El análisis notacional, es considerado la primera metodología, sirvió para registrar con papel y lápiz todos aquellos sucesos que acontecían (M. D. Hughes & Bartlett, 2002; James, 2006b). Sin embargo, el uso de esta metodología padecía de algunas desventajas que limitaban los registros. Entre otros, la dificultad para atender a varios estímulos simultáneos con sus correspondientes anotaciones mientras el partido seguía su curso de juego, las discrepancias que pueden ocurrir entre lo acontecido realmente en el encuentro y las anotaciones pertinentes, y/o la falta de ocasión para replicar las anotaciones obtenidas una vez concluido el encuentro (M. Hughes & Franks, 2004; James, 2006a). Pero la evolución incesante de la industria tecnológica en el deporte permitió que algunos de estos problemas pudieran solucionarse. El uso de las grabaciones de video permitieron el análisis posterior a la competición, permitiendo la posibilidad de ver las diferentes situaciones de la competición tantas veces como fueran necesarias (Carling, 2001; Doğramac et al., 2011). La fusión del análisis notacional a través de grabaciones dieron paso a las primeras cuantificaciones del desempeño de los

futbolistas con las variables de tiempo de juego y frecuencia de las acciones, que unido a la distancia de cada acción nos permitía calcular la velocidad media del desplazamiento (Carling et al., 2008a). Sin embargo, estas primeras muestras de grabación permitían únicamente el seguimiento a un único futbolista (Doğramac et al., 2011; M. Hughes & Franks, 2004). El fútbol es un deporte colectivo en el que parece ser necesario el análisis de lo que ocurre en el entorno para comprender lo que está sucediendo (Casamichana & Castellano, 2014; Gómez, 2012) por lo que hay que añadir otras limitaciones como el exceso de tiempo que es necesario aplicar para la obtención de variables, pudiendo afectar a los registros una falta de precisión y validez en los resultados obtenidos del análisis. Una de las principales desventajas de este sistema de análisis es la incompatibilidad de proporcionar un feedback con jugadores y miembros de staff técnico a tiempo real que pueda ayudar a obtener beneficio durante la competición (Pino-Ortega & Rico-González, 2021).

La evolución industrial no cesó en ninguna de sus ramas, y el deporte no iba a ser una excepción. Las limitaciones asumidas por el sistema de grabación fueron solventadas con la aparición de cámaras de video semi-automáticas (Cortes, 2020; Pons et al., 2019). Fue en este punto en el que la tecnología de seguimiento de los jugadores fue considerada por primera vez en el fútbol, y hasta el año 2014, fue la tecnología más utilizada (Paulis & Gómez, 2014; Pino-Ortega & Rico-González, 2021). Este método de análisis permite conocer datos de trayectoria, pudiendo realizar un seguimiento del rendimiento del futbolista y las relaciones establecidas entre compañeros/ rivales (Castells et al., 2015; Pons et al., 2019). La principal desventaja de esta tecnología de seguimiento es la dificultad de instalar las cámaras para obtener información en diferentes escenarios debido a su coste, por lo que se prescindía de su instalación en lugares de entrenamiento, siendo habitual su utilización exclusivamente en estadios durante la competición (Bastida-Castillo et al., 2019; Varley, 2013).

Si bien el impacto de los avances de los sistemas de seguimiento había sido de gran envergadura, era una época donde el cómo y porqué de lo que se ocurría en los entrenamientos comenzaba a ser de gran interés para la comunidad del fútbol (Casamichana-Gómez et al., 2015; Gómez-Díaz et al., 2013), y el no poder registrar datos en entrenamientos era una limitación que debía ser solucionada. Los avances tecnológicos en relación a la determinación del posicionamiento, basados en tecnologías de radiofrecuencia (RF), llegarían al mundo del deporte tras su uso inicial con fines militares (Alarifi et al., 2016; Enge & Misra, 1999). En primer lugar, los sistemas globales de navegación por satélite (Global Navigation Satellite System, GNSS) (Cummins et al., 2013; FIFA,

2015, 2020; Kupperman & Hertel, 2020; Rico-González, 2020) con la finalidad de poder cuantificar las demandas experimentadas por el futbolista en los entrenamientos y competición, pudiendo establecer unas exigencias físicas en los entrenamientos acorde a las demandas competitivas, haciendo frente a la limitación del análisis por multi-cámaras semi-automatizadas, puesto que estas no pueden estar instaladas tanto en los lugares donde se realiza la competición y en los campos de entrenamientos, ya que el transporte e instalación de las cámaras resulta complejo (Pino-Ortega & Rico-González, 2021; Sweeting et al., 2017a). La gran desventaja de estas tecnologías, es la imposibilidad de utilización en espacios cerrados, por lo que más tarde, la tecnología de radio frecuencia permitió una nueva consideración con los sistemas de posicionamiento local (Local Positioning Systems, LPS) permitiendo el análisis en espacios cerrados y paliando las limitaciones que ofrecen los GPS/GNSS (Alarifi et al., 2016; Leser et al., 2011; Rico-González, Los Arcos, Clemente, et al., 2020). Además, en comparación con las tecnologías basadas en video semiautomático, las empresas que han desarrollado dispositivos basados en radiofrecuencia, han incorporado sensores micro-electromecánicos (microelectromechanical systems (MEMS)) que amplían las posibilidades de registro con nuevas variables e indicadores de carga (J. J. Malone et al., 2017; Rico-González, Los Arcos, Nakamura, et al., 2020).

En 2015, en un escenario con una amplia gama de tecnología de vanguardia, la Federación Internacional de Fútbol Asociación (FIFA) creó un departamento con el objetivo de regular el campo de la tecnología en el fútbol con el nombre de Electronic Performance and Tracking Systems (EPTS). Posteriormente, y siempre y cuando el dispositivo cumpliera con la normativa (FIFA, 2020; IFAB, 2020; Pino-Ortega & Rico-González, 2021), la FIFA autorizó el uso de los sistemas de seguimiento en tiempo real, permitiendo a entrenadores y miembros del staff técnico tomar decisiones instantáneas gracias al análisis de variables cinemáticas, tácticas, neuromusculares y fisiológicas a tiempo real durante la competición. A partir de entonces, muchas empresas (e.j., Realtrack Systems en Almería-España, Catapult, GPS Sports, QSport, MathWorks, Statsports, Johan Sports, Mediatronic, Fitotogether) han surgido como proveedoras de los Electronic Performance and Tracking Systems.

1.1. Electronic Performance and Tracking Systems

Los principales sistemas que permiten extraer valores sobre el desempeño de los futbolistas durante entrenamiento y partidos son los ya mencionados sistemas de video semi-automáticos, GNSS-GPS y LPS (Cummins et al., 2013; Felipe et al., 2019; Rico-González, Los Arcos, Clemente, et al., 2020; Stevens et al., 2014a), popularmente conocidos dentro de la comunidad del fútbol como sistemas de posicionamiento, y que su función es localizar la posición de un jugador, equipo u otro objeto (FIFA, 2020; Gil, 2021; Pino-Ortega & Rico-González, 2021). A través del registro del posicionamiento, además del registro de otras variables (ver sección dos de la tesis doctoral), se puede cuantificar el desplazamiento total que realiza un futbolista durante una actividad (Sweeting et al., 2017b; Varley, 2013). Sin embargo, cada tecnología localiza al jugador en el terreno de juego y calcula las variables de una manera diferente, por lo que resulta necesario indagar en el modo de empleo, las características e incluso en las limitaciones que cada uno de ellos pudiera presentar. De manera adicional, las empresas han incorporado nuevos sensores denominados como MEMS, que en el caso de los sistemas de radio-frecuencia (GNSS-GPS y LPS), permiten el registro de nuevas variables extraídas de los sensores que incluyen: acelerómetro, giróscopo y magnetómetro.

1.1.1. Sistemas de video semi-automático

El análisis de vídeo comenzó de manera manual en el 1980, utilizando cámaras de vídeo a 5 Hz, con la finalidad de poder replicar los datos obtenidos a tiempo real mediante anotaciones, y realizar una visualización del encuentro en retrospectiva que conllevara una optimización del rendimiento (Paulis & Gómez, 2014; Van Gool et al., 1998). Este método supuso un avance para el deporte, ya que permitió la visualización de la competición las veces que fueran necesarias para la obtención de datos, con un bajo coste para las entidades deportivas (Paulis & Gómez, 2014). La necesidad continua que tenían los equipos por mejorar, obteniendo datos propios y del rival proporcionó el desarrollo del vídeo análisis, con el objetivo de acceder a información del partido a posteriori, puesto que solo tendrías esos datos con la visualizando el encuentro en directo o por medio de las anotaciones (Setterwall et al., 2003).

Los avances tecnológicos no cesaron, y dos décadas más tarde llegaron los sistemas de vídeo semi-automáticos, capaces de localizar la posición de los 22 jugadores y el balón en todo momento,

permitiendo un análisis a tiempo real de variables cinemáticas, tácticas y técnicas (FIFA, 2015; Rico-González, Los Arcos, Nakamura, et al., 2020). En poco tiempo, este sistema fue utilizado por los grandes equipos de las principales ligas mundiales, proporcionando información a tiempo real a miembros del cuerpo técnico y a los aficionados que siguen el partido desde el televisor sobre lo que está ocurriendo en el terreno de juego, y permitiendo diseñar unas tareas de entrenamiento acorde a las demandas físicas exigidas en competición. Debido a su elevado coste, el fútbol no profesional, no puede beneficiarse aún de sus posibilidades de uso (Di Salvo et al., 2007; Felipe et al., 2019; Linke et al., 2020; Paulis & Gómez, 2014; Pino-Ortega & Rico-González, 2021; Varley, 2013) dado que las empresas ofrecen estas tecnología mediante contratos de presentación de servicios.

1.1.1.1. Modo de registro de los datos

Los sistemas de seguimiento por análisis de vídeo semi-automatizada detectan la posición de un jugador, árbitro o balón en un plano bidimensional (coordenadas cartesianas x e y). El posicionamiento se consigue mediante la captura de imágenes, detectando los cambios de posiciones verticales y los desplazamientos realizados (Paulis & Gómez, 2014; Pino-Ortega & Rico-González, 2021; Sweeting et al., 2017b). Las complejas cámaras que pueden llegar a los 25Hz, situadas de forma permanente en los estadios, grabando todo el terreno de juego con una óptima posición, orientación, zoom y campo de visión, permiten controlar los movimientos durante el desarrollo del encuentro (Harley et al., 2010; Rico-González, Los Arcos, Nakamura, et al., 2020; Varley, 2013). Para poder obtener los datos, es necesario obtener el sistema de referencia de las dimensiones del campo, estableciendo un sistema de coordenadas X,Y (Paulis & Gómez, 2014).

El primer paso del análisis es la captura de la imagen, una vez obtenida se realiza una técnica de procesamiento, con la finalidad de potenciar la calidad de la imagen, y con ello, la de los futuros datos que se obtienen. A continuación, mediante software de reconocimiento de imágenes, se identifica la posición de los 22 futbolistas. El color de las equipaciones, la posición del jugador, el calzado, el dorsal o algún aspecto físico personal ayudan a la segmentación de imágenes (Setterwall et al., 2003). El sistema de video semi-automático necesita la supervisión de un especialista que de manera manual monitorice al jugador antes del inicio, mientras que durante el transcurso del encuentro vaya comprobando que la monitorización no ha sufrido ningún error, teniendo que

modificar las coordenadas manualmente en caso de pérdida de señal (Linke et al., 2020; Paulis & Gómez, 2014).

Los datos que proporciona el sistema de video semi-automático pueden ser proporcionados en 3 momentos: (i) instantáneos (menos de 300 milisegundos) siendo el margen de error elevado; (ii) si se realiza un primer filtrado, en la cual, la persona especializada debe colaborar (menos de 15 segundos) el margen de error es notoriamente menor; y, (iii) y al analizar los datos post-partido los datos presentan una alta validez y fiabilidad (Linke et al., 2020). Las cámaras emitan las imágenes registradas al servidor, para ser transformadas en archivos de vídeo por medio del software de la empresa (Varley, 2013). Una vez obtenidas esas imágenes, se realiza el filtrado, siendo el más utilizado el filtro de Kalman, el cual intenta optimizar las imágenes eliminando el ruido generado, con la finalidad de obtener unas ganancias de fiabilidad y validez en los datos obtenidos (Setterwall et al., 2003). Con la distancia recorrida cada 0,5 segundos, se obtiene la velocidad media utilizando el Teorema de Pitágoras (Varley, 2013).

1.1.1.2. Factores que influyen en el registro

- El tipo, número y localización de las cámaras en el estadio. Puesto que no todas las cámaras permiten el seguimiento continuo hacia los jugadores, y un número reducido de cámaras, y mal localizadas, es incompatible con un análisis preciso y válido (Setterwall et al., 2003; Varley, 2013). Una de las principales empresas de sistemas de video semi-automatizadas, Prozone® (ProZone Sports Ltd., Leeds, Reino Unido), realiza el análisis mediante 8 cámaras localizadas alrededor del estadio, que envían voluminosos archivos a la computadora para ser analizados, siendo necesario contar con computadoras que presenten un buen procesador de datos y amplia memoria para almacenar el contenido recibido (Paulis & Gómez, 2014; Setterwall et al., 2003). Otras empresas como TCoach® (TRACAB, Solna, Suecia), utilizan 16 cámaras de video con enfoque panorámico, con una calidad de imagen de 1920x1200 píxeles. La resolución de las cámaras, es un factor a tener en cuenta para reducir el porcentaje de error a la hora de determinar la posición del jugador en el terreno de juego (Linke et al., 2020).

- Seguimiento de los futbolistas y cambios de luminosidad. La propia naturaleza del fútbol, dificulta el seguimiento de los 22 jugadores y el balón, ya que se realizan movimientos imprevisibles a una gran velocidad, condicionando el movimiento de los demás adversarios en busca de conseguir

la posesión del balón, la cual, a veces puede quedar oculta entre varios futbolistas, y es la más compleja de seguir, debido a su pequeño tamaño y a la gran velocidad a la que puede ser transportada (Setterwall et al., 2003). La acumulación de jugadores en pequeñas zonas del campo, donde es necesario la actuación de un especialista para detectar al jugador, junto a los continuos cambios de luz, impiden un análisis de vídeo de forma automática (Paulis & Gómez, 2014; Varley, 2013).

1.1.1.3. Ventajas y desventajas

En la tabla 1 se muestran las principales ventajas y desventajas de este sistema con base científica.

TABLA 1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMAS DE VIDEO SEMI-AUTOMÁTICO

Ventajas	Referencias
Obtiene variables a tiempo real.	Setterwall et al. (2003)
Proporciona variables físicas, técnicas y tácticas.	Pino-Ortega & Rico-González (2021)
Tecnología precisa y válida para la cuantificación de carga externa en fútbol.	Sweeting et al. (2017b)
Posibilita la opción de ser utilizado en cualquier estadio, tanto interior como exterior.	Varley (2013)
Único sistema capaz de recopilar datos sin necesidad de que el jugador lleve puesto un instrumento tecnológico durante la competición.	Linke et al. (2020)
Desventajas	Referencias
Elevado coste e infraestructuras no portátiles.	Sweeting et al. (2017b)
Dificultad de aplicar en fútbol base y no profesional.	Harley et al. (2010)

Incapacidad de medir la velocidad instantánea en contraposición a los GNSS-GPS.	Varley (2013)
Es necesario tener un observador especializado con la tecnología.	Paulis & Gómez (2014)
Difícil seguimiento en condiciones climatológicas adversas: fuertes lluvias o nieves, niebla o falta/ exceso de luz.	Linke et al. (2020)

1.1.2. Sistemas de Posicionamiento Global

Los sistemas GNSS-GPS fueron creados con intenciones de uso militar en 1973 por Estados Unidos (Alarifi et al., 2016; Enge & Misra, 1999). Sin embargo, el uso de estos sistemas aplicados al deporte no llegó hasta el año 2000, donde se utilizó para medir las distancias recorridas en deportes de resistencia como el ciclismo o el atletismo (Castellano & Casamichana, 2014). A partir de entonces, su uso ha incrementado de forma progresiva, debido al progreso de la tecnología, haciendo mención especial al software, que han sido diseñados para su utilización en otras disciplinas deportivas como los deportes de equipo (Dobson & Keogh, 2007; Rico-González, Pino-Ortega, Nakamura, Arruda Moura, et al., 2020), hasta el punto de que no es muy habitual ver un equipo profesional, o incluso semi-profesional, que no haya hecho uso de esta tecnología (Palucci Vieira et al., 2019b).

1.1.2.1. Modo de registro de los datos

GNSS-GPS registra la señal por medio de los satélites que hay en las constelaciones (Pino-Ortega & Rico-González, 2021; Varley, 2013). En la actualidad hay 4 constelaciones de satélites. La constelación europea denominada Galileo (22 satélites en funcionamiento), la GLONASS ruso (24 satélites en funcionamiento), GPS estadounidense (31 satélites en funcionamiento) y Beidou chino (33 satélites en funcionamiento) (Shen et al., 2019; Treviño, 2014). Los satélites se encuentran a 20.000 km de la Tierra, su distribución permite que siempre haya al menos 4 o 5 satélites en línea (Jackson et al., 2018; Shen et al., 2019). Se presume que un alto porcentaje de fiabilidad requiere la

activación de una constelación de 24 o más satélites (Jackson et al., 2018; Shen et al., 2019; Treviño, 2014; Varley, 2013).

Cada satélite contiene un reloj atómico que emite señales al jugador, que lleva incorporado el receptor GNSS-GPS dentro de un chaleco, en la zona escapular (Breddy, 2018; Paulis & Gómez, 2014). El propio receptor GNSS-GPS resta ambos tiempos, y multiplica la diferencia por la velocidad de la luz, es decir, el receptor GNSS-GPS obtiene la distancia del desplazamiento realizado en el terreno del juego, mediante el tiempo que transcurre la señal en salir del satélite y llegar al dispositivo, teniendo en cuenta la velocidad de la luz. La primera señal que envía el satélite a la velocidad de luz, indica el momento exacto de salida, permitiendo al receptor GNSS-GPS conocer el tiempo que tarda en llegar la señal desde el satélite al jugador. Esa señal permite conocer que el posicionamiento del jugador está dentro de una hipotética esfera que bordea al jugador, este dato no es preciso, puesto que el receptor necesita al menos de 3-4 satélites para obtener datos precisos de posicionamiento (Larsson, 2003; Rico-González, Arcos, Rojas-Valverde, et al., 2020; Varley, 2013). El cálculo del posicionamiento con la señal de un solo satélite permite “dibujar” una circunferencia hipotética, en la que el jugador se encuentra en cualquier punto de su perímetro (Treviño, 2014). Con un segundo satélite las posibilidades se reducen a dos, siendo posible la posición en uno de los dos puntos en los que se juntan las dos circunferencias (Larsson, 2003; Varley, 2013). Por medio del tercer satélite, conocemos la posición exacta del jugador, que es el punto donde se unen las tres circunferencias. Esta técnica geométrica para detectar el posicionamiento del jugador mediante tres referencias proporcionadas por los satélites se denomina trilateración, la cual, por medio de los 3 puntos de referencia te ofrece la posición exacta en un determinado momento (Gil, 2021; Pino-Ortega & Rico-González, 2021; Treviño, 2014).

Por medio de la trilateración (ver figura 1) se determina la posición del deportista al conocer la distancia de 3 puntos de referencia proporcionados por los satélites, sin estos 3 puntos de referencia no se podría determinar la posición del jugador en el terreno de juego de manera precisa. Por medio de estas 3 referencias, conocemos la posición exacta del jugador en el terreno de juego, la distancia recorrida en los desplazamientos realizados, velocidad a la que se desplaza y velocidad instantánea del jugador a cada momento (Treviño, 2014; Varley, 2013).

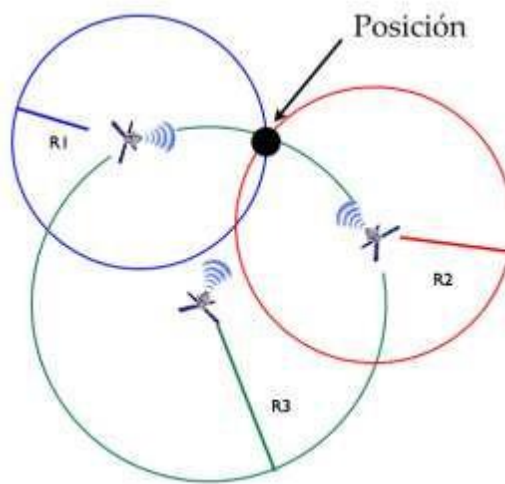


ILUSTRACIÓN 1. MÉTODO DE TRILATERACIÓN PARA DETERMINAR EL POSICIONAMIENTO.

El filtrado de datos se realiza una vez finalizado el procesamiento con el objetivo de pulir el posicionamiento y disminuir el ruido mediante algoritmos matemáticos. El filtrado convierte los datos espaciales sin procesar en datos temporales, utilizando una Transformada Rápida de Fourier. El filtrado depende del sistema de posicionamiento elegido, mostrando los fabricantes muy poca información sobre este proceso. Los datos sobre la distancia e intensidad recorrida de los deportistas puede variar en función de la técnica de filtrado realizada (Sweeting et al., 2017b). Los datos son traspasados a un ordenador y analizados con el software de la empresa (Varley, 2013). Durante ese análisis, el investigador tiene que comprobar que los picos de velocidad y aceleración no presentan valores atípicos, producidos por una posible pérdida de conexión con la señal del satélite. Los datos anómalos deben ser eliminados de la sesión (Rico-González, Arcos, Rojas-Valverde, et al., 2020).

1.1.2.2. Factores que influyen en el registro

Existen diferentes factores que pueden influir en el registro de los datos:

- Validez y fiabilidad. Actualmente, todas las tecnologías presentan algún porcentaje de error, por lo que debemos asegurarnos de que la tecnología utilizada está validada previamente y los datos obtenidos son válidos y fiables (J. J. Malone et al., 2017).

- Calibración y planimetría. La calibración se produce cuando el dispositivo GNSS-GPS sufre un envejecimiento, produciendo una falta de alineamiento en los sensores. La planimetría es el error a la hora de posicionar al jugador en el terreno de juego, debido a que la posición real del futbolista puede ser diferente a la posición registrada por los dispositivos GNSS-GPS (Nagahara et al., 2019; Niu et al., 2013).

- La frecuencia de muestreo. Afecta a la precisión de variables cinemáticas y neuromusculares. La frecuencia de muestreo depende de la tecnología utilizada, y de la finalidad del investigador para recoger o menos datos por segundo. El Teorema de Nyquist es imprescindible seguirlo, utilizando el doble de frecuencia de la que proporciona la señal (Adesida et al., 2019; Stevens et al., 2014a)

- La desconexión de la señal del satélite del dispositivo. Si se produce una pérdida de señal, la sesión registrada puede aparecer con una falta de contenido en sus datos, o al seguir los datos en tiempo real, pueden aparecer de manera tardía. Por ello, el dispositivo debe ser encendido 15 minutos antes del comienzo de registro de datos, y cerciorarse de que el dispositivo GNSS-GPS recibe señal del satélite, antes de incorporarlo en el chaleco del jugador (Duffield et al., 2010; J. J. Malone et al., 2017).

1.1.2.3. *Ventajas y desventajas*

En la tabla 2 se muestran las principales ventajas y desventajas de este sistema con base científica.

TABLA 2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

Ventajas	Referencias
Capaces de medir de manera directa velocidad y distancia.	Varley (2013)
Capaces de medir de manera indirecta aceleraciones y desaceleraciones.	Whitehead et al. (2018)
Proporciona información a tiempo real de varios deportistas.	Aughey & Fallon (2010)

Posibilidad de incorporar MEMS y bandas de frecuencia cardiaca en el dispositivo.	Paulis & Gómez (2014)
Fácil aplicación para usar en entrenamientos	Castellano & Casamichana (2014)
Más validez y precisión para cuantificar carga externa los dispositivos a 10Hz que los de 5Hz y 1Hz.	Delaney et al. (2018)
Poco voluminosos y de ligero peso para la práctica deportiva.	Varley (2013)
Precio competitivo y posibilidad de transportar a diferentes lugares en contraposición a los sistemas de video semi-automáticos.	Paulis & Gómez (2014)
Desventajas	Referencias
Limitación a la hora de medir aceleraciones y desaceleraciones de manera directa.	Varley (2013)
No permite visualizar información del rival en contraposición a los sistemas de vídeo semi-automáticos.	Paulis & Gómez (2014)
La señal puede sufrir interrupciones en zonas urbanas, donde los edificios presenten grandes dimensiones, debido a la pérdida de señal entre los satélites y el dispositivo GNSS-GPS.	Dobson & Keogh (2007)
El satélite no puede mandar señal en espacios interiores.	Ogris et al. (2012)

1.1.3. Sistemas de Posicionamiento Local

LPS se integra en el mundo del deporte como solución al registro de datos por satélite, puesto que la señal emitida por el satélite no puede llegar al receptor GNSS-GPS, si este se encuentra en un

espacio techado, suponiendo un gran avance para la profesionalidad de los deportes indoor, al solventar la necesidad de obtener datos cuantitativos que proporcionen información sobre las demandas físicas exigidas en competición, y el control de la carga durante el proceso de entrenamiento (Bastida-Castillo et al., 2019; Leser et al., 2011; Rico-González, Los Arcos, Clemente, et al., 2020).

Esta tecnología se puede clasificar entre RF (bluetooth, WI-Fi y banda ultra ancha (UWB)), ultrasonido e infrarrojos (Rico-González, Los Arcos, Clemente, et al., 2020) siendo la tecnología UWB la más utilizada, al contar con una capacidad de 500Mhz, que permite registrar datos con una gran fiabilidad y validez con un bajo consumo de batería (Alarifi et al., 2016; Jovanov et al., 2005).

La tecnología ultrasonido se comunica con los dispositivos por medio del aire y la infraestructura del recinto, pudiendo sufrir alteraciones cuando los desplazamientos son entre varios futbolistas, por lo tanto, para la práctica de fútbol donde 20 futbolistas se mueven de manera simultánea no es recomendada (Alarifi et al., 2016; Leser et al., 2011). La tecnología infrarrojos emite luz hacia varias direcciones como medio de comunicación con el dispositivo (Alarifi et al., 2016). El sistema de RF intercambia información entre las antenas y los dispositivos mediante ondas de radio (Alarifi et al., 2016). La tecnología UWB se comunica con los dispositivos mediante ondas sinusoides (ondas electromagnéticas) que describen la frecuencia de la señal por segundos (Alarifi et al., 2016; Jovanov et al., 2005).

1.1.3.1. Modo de registro de los datos

Para obtener datos mediante LPS, se precisa realizar una previa instalación en el recinto, es decir, colocar antenas alrededor del espacio de juego para construir un sistema de coordenadas (X, Y) en el cual, el jugador y sus desplazamientos son detectados (Alarifi et al., 2016; Leser et al., 2011). La empresa Realtrack Systems (Almería, España) necesita un mínimo de 6 antenas para realizar la circunferencia alrededor del estadio, aunque se recomienda el registro con 8 o más antenas, para aumentar la precisión del dispositivo (Bastida-Castillo et al., 2019; Pino-Ortega & Rico-González, 2021).

Al igual que ocurre con los sistemas GNSS-GPS y la necesidad de conectar con 3-4 satélites para obtener las referencias del posicionamiento, LPS requiere al menos la señal de 3 antenas para

determinar el posicionamiento del jugador en el espacio de forma precisa. Las antenas, envían señales a los dispositivos, que van incorporados en la zona escapular del deportista, mediante un chaleco (Ogris et al., 2012). Para determinar la posición del jugador dentro del espacio, hay 5 técnicas (Alarifi et al., 2016; Ogris et al., 2012):

1. Tiempo de llegada de la señal (TDO). Gran precisión al usarlos con tecnología de banda ultra ancha y ultrasonido.
2. Ángulo de llegada de la señal (AOA). Si las antenas están muy alejadas de los dispositivos, puede aumentar el margen de imprecisión en los datos registrados, por lo que se recomienda su uso con tecnología de banda estrecha e infrarrojos.
3. Intensidad a la que llega la señal (RSS). Adecuados al utilizarlos con tecnología de banda estrecha y radiofrecuencia.
4. Diferencia entre el tiempo de salida y llegada de la señal (TODA). Técnica más utilizada para detectar el posicionamiento, presenta gran validez, fiabilidad y resolución con tecnología de banda ultra ancha.
5. Algoritmo híbrido. Combinación de diferentes técnicas.

El cálculo para determinar el desplazamiento y la velocidad es variado entre las diferentes empresas, puesto que algunos dispositivos son capaces de realizar el cálculo, otros, en cambio, envían la información del dispositivo al sistema, para que este calcule los datos resultantes de las acciones ejecutadas en el terreno de juego (Alarifi et al., 2016; Leser et al., 2011; Lutz et al., 2019).

1.1.3.2. Factores que influyen en el registro

Existen diferentes factores que pueden influir en el registro de los datos:

- Distribución y altura de las antenas. Las antenas deben proporcionar una circunferencia alrededor del terreno de juego, si esta circunferencia sufre una alteración en los laterales del campo, los datos registrados presentaran un descenso de precisión. Una posición excesivamente alta de las antenas produce un aumento de porcentaje de error de los datos analizados (Rico-González, Los Arcos, Clemente, et al., 2020)
- Condiciones climatológicas. Ambientes fríos, húmedos y sin apenas movimiento de aire, influyen positivamente a la hora de registrar el posicionamiento (Alarifi et al., 2016).

- Frecuencia de muestreo. Nos referimos a la cantidad de imágenes que son obtenidas en un segundo, manifestado en hercios. Una frecuencia de muestro baja se traducirá en una falta de precisión en el registro, y un exceso de frecuencia puede aumentar el ruido. Una frecuencia óptima oscila entre los 42 y 100Hz (Olthof et al., 2018; Pino-Ortega & Rico-González, 2021).
- Errores tecnológicos. Es importante asegurarse de que el sistema utilizado proporciona datos válidos y fiables, puesto que en función del modelo o marca, los datos registrados, serán más o menos precisos. La pérdida total o parcial de conexión con el dispositivo puede provocar un registro incompleto de la sesión. Se recomienda conectar el dispositivo con las antenas 15 minutos antes del registro de datos (Alarifi et al., 2016; Leser et al., 2011).

1.1.3.3. *Ventajas y desventajas*

En la tabla 3 se muestran las principales ventajas y desventajas de este sistema con base científica.

TABLA 3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO LOCAL

Ventajas	Referencias
Alta precisión de los datos registrados con un porcentaje de error más reducido que GNSS-GPS al detectar la posición.	Leser (2011)
Posibilidad de registro al aire libre y en espacios techados en comparación a los dispositivos GNSS-GPS.	Lutz et al. (2019)
Seguimiento de varios dispositivos de manera simultánea.	Stevens et al. (2014a)
Permite conocer el posicionamiento por medio de 5 técnicas diferentes.	Alarifi et al. (2016)
Capacidad de resolución de hasta 100Hz	Alarifi et al. (2016)
Registra variables cinemáticas, neuromusculares (al incluir MEMS) y tácticas.	Rico-González, Arcos, Rojas-Valverde, et al. (2020)

Desventajas	Referencias
Previa instalación de antenas.	Leser et al. (2011)
Gran inversión financiera.	Alarifi et al. (2016)
Necesidad de contar con un especialista para el mantenimiento de las antenas y registro de datos.	Lutz et al. (2019)
Más preciso en velocidades medias, que en velocidades instantáneas.	Ogris et al. (2012)

1.1.4. Sensores micro-electromecánicos

Los sensores micro-electrónicos están diseñados para captar movimientos propios del deporte, tales como giros, aceleraciones, desaceleraciones, movimientos angulares y fuerzas producidas hacia diferentes direcciones. En cuanto a los modelos de sensores micro-electrónicos podemos diferenciar entre acelerómetros, giroscopios y magnetómetros (Cummins et al., 2013). El desarrollo y uso de esta tecnología se encuentra en crecimiento, y es frecuente que los cuerpos técnicos de clubes de alto rendimiento cuenten con esta tecnología a su disposición, pudiendo ser utilizada de forma independiente, aunque en el ámbito de las ciencias del deporte, su uso suele ser integrado junto a otras tecnologías de seguimiento (Cummins et al., 2013). Gracias a estos avances tecnológicos, los profesiones del sector están trabajando para conocer mejor la carga biomecánica y comprender los movimientos producidos en la actividad del fútbol (Breddy, 2018).

1.1.4.1. Modo de registro de los datos

El acelerómetro es un sensor inercial muy sensible, capaz de cuantifica las dimensiones, frecuencias y magnitudes de fuerzas tales como aceleraciones o desaceleraciones en movimiento uniaxiales o multiaxiales (Lutz et al., 2019). Esta tecnología cuantifica la carga externa del deportista en planos tridimensional principalmente (anterior-posterior X, medio-lateral Y, y longitudinal Z), sin posibilidad de reconocer la posición del deportista en un espacio, por lo que no puede medir variables relacionados con espacio-tiempo (Pelham et al., 2006; Sparks et al., 2017; Sweeting et al., 2017b). Las aceleraciones y desaceleraciones pueden ser cuantificados de dos maneras, de forma

independiente o bien con una combinación entre los valores obtenidos entre ambos esfuerzos, aceleraciones-desaceleraciones (Delaney et al., 2018). La recopilación de aceleraciones y desaceleraciones se pueden establecer por umbrales de intensidad genéricos o individualizados, o por medio de la duración de los esfuerzos en períodos de tiempo (Abbott et al., 2018; Delaney et al., 2018). Cuantificar el gasto de energía mediante la distancia total recorrida, sin tener en cuenta las aceleraciones o desaceleraciones, proporciona un dato subestimado (Trewin et al., 2018). Para la cuantificación precisa de aceleraciones, se necesita tecnologías con mayor frecuencia de muestreo en comparación con los desplazamientos y presentan menos precisión en movimientos de alta intensidad con una breve duración en el tiempo, en relación a movimientos estables de larga distancia (Lutz et al., 2019; Nakamura et al., 2017). Los distintos algoritmos que realizan las marcas de dispositivos para proporcionar datos sobre aceleraciones y desaceleraciones son privados por las empresas, por lo que dificultan a la comunidad científica la replicación de grupos independientes (Lutz et al., 2019). El valor de los aceleraciones o desaceleraciones metros por segundo al cuadrado o fuerza g (Pelham et al., 2006; Sparks et al., 2017).

El giroscopio es un instrumento capaz de medir la velocidad angular y la rotación de un cuerpo en un espacio. Compuestos por actuadores electrostáticos, electromagnéticos o piezoeléctricos que posibilitan la vibración de actuadores mecánicos capaces de detectar el movimiento, su aplicación en estos deportes va ligada a la optimización de recogida de datos del acelerómetro (Gil, 2021; Lutz et al., 2019). El giro o rotación es el movimiento de un jugador sobre el eje central vertical de su propio cuerpo, debiendo también girar o rotar el tren inferior del futbolista para ser denominado giro o rotación completa. Los movimientos angulares como giros, rotaciones u otras acciones similares resultan determinantes en deportes de equipo, y son acciones que suelen darse frecuentemente durante la competición o entrenamientos. El valor de los giros viene expresado en grados por segundo (Faude et al., 2012; Gil, 2021; Lutz et al., 2019; Passaro et al., 2017).

Magnetómetro es un instrumento encargado de almacenar datos del campo magnético de la tierra y sus fuerzas para obtener la dirección de orientación del movimiento. La orientación espacial que obtenemos mediante el magnetómetro suele no presentarse en el control de la carga del deportista. El magnetómetro ayuda al filtrado de los datos obtenidos con acelerómetros y giroscopios, puesto que detecta la dirección del movimiento producido. El valor viene reflejado en tesla (Brunner et al., 2015; Lutz et al., 2019; Pino-Ortega & Rico-González, 2021).

1.1.4.2. Factores que influyen en el registro

Existen diferentes factores que pueden influir en el registro de los datos:

- Localización del dispositivo. Debe situarse lo más pegado posible al futbolista para evitar interferencias a la hora de registrar datos, evitando estar próximo a articulaciones o zonas de masa muscular/ grasa. Las posiciones pueden ser las escápulas, el esternón y la zona lumbar en L3, aunque lo más habitual es introducir el dispositivo en la zona escapular por medio de un chaleco (Boerema et al., 2014; Camomilla et al., 2018).
- Frecuencia de muestreo. Una frecuencia de muestro baja puede producir datos incorrectos, y un exceso puede aumentar el ruido, por lo que el teorema de Nyquist debe tenerse en cuenta a la hora de registrar datos (Pino-Ortega & Rico-González, 2021; Stevens et al., 2014a). Al seguir las tratamien-to de filtrado del propio dispositivo se requiere de al menos 90 Hz, y al utilizar un filtrado propio es preciso registrar a 100 Hz (Miguel-es et al., 2017). Investigaciones recientes sugieren una frecuencia de muestro mayor a 100 Hz para obtener datos válidos en entornos con movimientos explosivos como puede ser el propio fútbol (Gómez-Carmona et al., 2020; Reche-Soto et al., 2020).
- Rango máximo de medición. Característica técnica del dispositivo que impide registrar un valor por encima del rango máximo que el sensor es capaz de medir (Gómez-Carmona et al., 2020; Miguel-es et al., 2017).
- Condiciones climatológicas. La temperatura afecta a la precisión de los datos registrados, un grado centígrado de diferencia sobre las recomendaciones del sensor, es suficiente para producir variaciones entre el valor real del movimiento y el registrado por el dispositivo, por lo tanto, es ideal seguir las recomendaciones del fabricante, que oscilan entre los 32 y 40 grados centígrados (van Hees et al., 2014; Varley, 2013).
- Validez y fiabilidad. Asegurarse previamente de que la tecnología utilizada mida lo que se pretenda medir con un alto grado de fiabilidad. Es recomendable que los sensores no estén cerca de componentes magnéticos que alteren los datos registrados. Calibrar el dispositivo en condiciones similares a las del registro es fundamental para asegurar una correcta toma de datos (Bergamini et al., 2014; Fong et al., 2008; Picerno et al., 2011).
- Filtrado de datos. En función del deporte, se aplican diferentes filtros para eliminar los valores atípicos que puedan surgir en el registro. Los propios fabricantes realizan un filtrado durante la

recogida de datos, no obstante, el propio investigador debe realizar una valoración de ellos para asegurarse de la calidad del registro (Bergamini et al., 2014; Gómez-Carmona et al., 2020; Varley, 2013).

1.1.4.3. Ventajas y desventajas

En la tabla 4 se muestran las principales ventajas y desventajas de este sistema con base científica.

TABLA 4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS MICRO-ELECTROMECAÓNICOS

Ventajas	Referencias
Posibilidad de recoger datos de varios futbolistas en un mismo momento.	(Abbott et al., 2018)
Alta precisión y validez de los datos registrados.	(Stevens et al., 2014a)
Capaz de medir en entornos al aire libre y cerrados con un protocolo sencillo y rápido de ejecutar.	(Cummins et al., 2013)
No es necesario contar con un especialista en el momento de la toma de datos.	(Miguelés et al., 2017)
Ofrece datos cinemáticos y neuromusculares.	(Gil, 2021)
Compatibles con otras tecnologías de seguimiento.	(Cummins et al., 2013)
Desventajas	Referencias
Es necesario que el jugador porte un dispositivo introducido dentro de un chaleco que puede resultar incómodo.	(Gómez-Carmona et al., 2020)
Incapaz de localizar el posicionamiento del jugador y del balón.	(Delaney et al., 2018)

Los datos cinemáticos no ofrecen información de distancias ni velocidades.	(Migueles et al., 2017)
No reproduce análisis tácticos.	(Lutz et al., 2019)
Gran inversión financiera si se quiere equipar a un equipo completo de esta tecnología.	(Varley, 2013)

1.2. Tipos de variables registradas

El desarrollo tecnológico ha permitido un amplio abanico de variables que permiten la interpretación de lo que ocurre durante los entrenamientos y los partidos (Hader et al., 2019). Por primera vez en el 8º Congreso del Colegio Europeo de Ciencias del Deporte en Salzburgo en el año 2003, el conjunto de medidas asumió una clasificación general: variables de carga interna y variables de carga externa (Impellizzeri et al., 2019).

La carga externa hace referencia a los diferentes movimientos que el jugador lleva a cabo durante el juego (Rodríguez & Hoyo, 2018). Cuantifica todo el trabajo físico realizado por el jugador en el entrenamiento o competición por medio de medidas de distancias recorridas, velocidades alcanzadas, aceleraciones/ desaceleraciones realizadas y potencia metabólica registrada (Cortes, 2020; Gil, 2021; Impellizzeri et al., 2019). Por su parte, la carga interna se refiere al resultado físico y psicológico producido en el organismo como consecuencia del juego (Cortes, 2020). Es la respuesta que reproduce el organismo como resultado del entrenamiento o competición, cuantificable con medidas de frecuencia cardiaca, consumo máximo de oxígeno o nivel de lactato en sangre. Proporciona información sobre el estrés biológico derivado de la práctica deportiva (Figueiredo et al., 2016; Impellizzeri et al., 2019; Sparks et al., 2017).

Actualmente en los deportes de equipo es más común el uso de medidas de carga externa que de carga interna, puesto que proporcionan más información del deportista a tiempo real durante los entrenamientos y en competición (Aughey & Fallon, 2010; Cortes, 2020). Estas medidas de carga externa son, por lo general, fruto del uso de los sistemas de posicionamientos previamente

introducidos. Sin embargo existe un amplio abanico de métricas que pueden ayudar a los equipos a optimizar su proceso de entrenamiento con medidas de carga interna y externa (Aughey & Fallon, 2010; Impellizzeri et al., 2019).

La siguiente clasificación de variables está establecida en función de la tecnología utilizada para obtener el dato, diferenciando entre sensores de posicionamiento (variables cinemáticas y tácticas), sensores inerciales y otros sensores que registran variables fisiológicas.

1.2.1. Variables basadas en datos de sensores de posicionamiento

Las variables obtenidas a través de los diferentes sensores de posicionamiento (sistemas de vídeos semi-automáticos, GNSS-GPS y LPS) recogen información acerca de los movimientos realizados por el jugador y el equipo durante una sesión de entrenamiento o partido (Cummins et al., 2013; Rodríguez & Hoyo, 2018).

Estas variables se clasifican en variables cinemáticas y tácticas posicionales. Las variables cinemáticas proporcionan información sobre el trabajo físico desempeñado, y las variables tácticas sobre el sistema de juego y las diferentes estrategias llevadas a cabo por el staff técnico para alcanzar el éxito en competición (Casamichana & Castellano, 2014; Gil, 2021; Low et al., 2020).

1.2.1.1. Variables cinemáticas

- Definición y origen.

Las variables cinemáticas son las encargadas de estudiar los desplazamientos realizados por los futbolistas durante un entrenamiento o competición (Reinhardt et al., 2019). Las primeras veces que se plantearon estas variables fueron en los años 70 (Carling et al., 2008b; Reilly, 1976). El planteamiento de estas métricas deriva de la problemática causada por el desconocimiento de los desplazamientos realizados por los futbolistas durante la competición, donde a modo de solución se empezó a plantear el uso de estas variables de manera manual por el observador mediante la visión del encuentro en diferido (Carling et al., 2008b). Su implementación permitió conocer de manera objetiva la distancia total recorrida por el jugador en competición, siendo el inicio de la cuantificación de la carga externa en fútbol (Reilly, 1976).

- Clasificación.

Con el paso del tiempo y el desarrollo tecnológico mediante EPTS, las variables cinemáticas se clasificaron en variables de velocidad, distancia, aceleraciones y variables compuestas (Pino-Ortega & Rico-González, 2021). La variable de velocidad más estudiada en la literatura es la velocidad máxima o sprint, al igual que sucede con la variable de aceleración, que la más analizada es la capacidad máxima que tiene el jugador de acelerar o desacelerar durante el movimiento (Varley, 2013). En cuanto a la distancia, las variables más comunes son la distancia total y relativa. Las variables compuestas más analizadas tratan sobre el poder metabólico y carga metabólica (Pino-Ortega & Rico-González, 2021).

TABLA 5. VARIABLES CINEMÁTICAS RELACIONADAS CON LA VELOCIDAD

Variable	Definición	Referencias
Velocidad máxima	Velocidad más alta registrada por el dispositivo electrónico durante una sesión de entrenamiento o competición en Km/h.	Cortes (2020)
Sprint absoluto	Número de acciones en la que el jugador alcanza la velocidad de sprint absoluta.	Sweeting et al. (2017a)
Sprint relativo	Número de acciones en los umbrales de velocidad de sprint relativas.	Nagahara et al. (2019)
Alta velocidad de carrera absoluta	Número de acciones en alta velocidad de carrera absoluta.	Reinhardt et al. (2019)
Alta velocidad de carrera relativa	Número de acciones en alta velocidad de carrera relativa.	Beato et al. (2020)

TABLA 6. VARIABLES CINEMÁTICAS RELACIONADAS CON LA ACELERACIÓN

Variable	Definición	Referencias
Aceleración máxima	Aceleración más alta registrada por el dispositivo electrónico durante una sesión de entrenamiento o competición en m/s^2 .	Breddy (2018)
Desaceleración máxima	Desaceleración más alta registrada por el dispositivo electrónico durante una sesión de entrenamiento o competición en m/s^2 .	Stevens et al. (2014a)
Aceleraciones	Número total de aceleraciones realizadas.	Beato & Drust (2020)
Desaceleraciones	Número total de desaceleraciones realizas.	Stevens et al. (2014a)

TABLA 7. VARIABLES CINEMÁTICAS RELACIONADAS CON LA DISTANCIA

Variable	Definición	Referencias
Distancia total del jugador	Distancia total recorrida por el jugador durante el entrenamiento o competición.	Casamichana & Castellano (2014)
Alta velocidad de carrera absoluta	Distancia total recorrida a alta velocidad de carrera. Esta velocidad es establecida por la empresa o usuario. No hay un estándar de oro establecido en la literatura.	Oxendale et al. (2017)

Alta velocidad de carrera relativa	Distancia total relativa recorrida a alta velocidad de carrera. Esta velocidad es establecida por la empresa o usuario. No hay un estándar de oro establecido en la literatura.	Beato et al. (2020)
Sprint absoluto	Distancia recorrida a sprint absoluto. Esta velocidad es establecida por la empresa o usuario. No hay un estándar de oro establecido en la literatura.	Sweeting et al. (2017a)
Sprint relativo	Distancia recorrida a sprint relativo. Esta velocidad es establecida por la empresa o usuario. No hay un estándar de oro establecido en la literatura.	Malone et al. (2018)
Alta carga metabólica	Distancia total recorrida con una potencia superior a 25 W/ kg, lo que equivale a 19,8 km/h.	Buchheit et al. (2015)
Distancia explosiva	Distancia total recorrida a partir de una aceleración superior a 1,12 m/s ²	Meylan et al. (2017)
Frenado a alta intensidad	Distancia total recorrida a partir de una desaceleración superior a 2 m/s ²	Varley (2013)
Umbrales absolutos de velocidad	Distancia total absoluta recorrida en cada intervalo de velocidad marcado previamente por la empresa o usuario. No hay un estándar de oro establecido en la literatura.	(Núñez et al. (2018)
Umbrales relativos de velocidad	Distancia total relativa recorrida en cada intervalo de velocidad marcado previamente por la empresa o usuario. No hay un estándar de oro establecido en la literatura.	Tomazoli et al. (2020)

Distancia acelerando	Distancia total recorrida por el jugador incrementando la velocidad.	Abbott et al. (2018)
Distancia desacelerando	Distancia total recorrida por el jugador disminuyendo la velocidad.	Varley (2013)
Umbrales absolutos de aceleración	Distancia total absoluta recorrida en cada intervalo de aceleración marcado previamente por la empresa o usuario. No hay un estándar de oro establecido en la literatura.	Núñez et al. (2018)
Umbrales relativos de aceleración	Distancia total relativa recorrida en cada intervalo de aceleración marcado previamente por la empresa o usuario. No hay un estándar de oro establecido en la literatura.	Harper et al. (2019)
Umbrales absolutos de desaceleración	Distancia total absoluta recorrida en cada intervalo de desaceleración marcado previamente por la empresa o usuario. No hay un estándar de oro establecido en la literatura.	Stevens et al. (2014b)
Umbrales relativos de desaceleración	Distancia total relativa recorrida en cada intervalo de desaceleración marcado previamente por la empresa o usuario. No hay un estándar de oro establecido en la literatura.	Newans et al. (2019)

TABLA 8. VARIABLES CINEMÁTICAS COMPUESTAS.

Variable	Definición	Referencias
Potencia metabólica	Gasto energético estimado para desarrollar la actividad. Se expresa en W/ kg.	Osgnach et al. (2010)
Carga metabólica	Métrica compuesta por carreras a alta velocidad, aceleraciones y desaceleraciones para expresar una carga de trabajo unificada.	Pino-Ortega & Rico-González (2021)

1.2.1.2. Variables tácticas

- Definición y origen.

Las variables tácticas son las diferentes relaciones que se producen durante un partido entre los propios jugadores de un equipo y/o los rivales en un espacio-tiempo determinado (Rico-González, 2020). En los deportes colectivos, las manifestaciones individuales que realizan los jugadores pueden ser determinantes para alcanzar el éxito, pero las relaciones a nivel colectivo son más relevantes (Frencken et al., 2011; Moura et al., 2011). A comienzos del siglo XXI se comenzó a cuantificar variables tácticas, mediante el centro geométrico (CG) propuesto por (Schöllhorn, 2003), aunque hasta el año 2008 no se cuantificó en deportes colectivos, siendo los pioneros (Yue et al., 2008). Las variables tácticas ayudan a entrenadores y científicos a evaluar y comprender los diferentes comportamientos que se producen en competición, facilitando una respuesta adecuada que influya a tener éxito en competición (Rico-González, Pino-Ortega, Nakamura, Arruda Moura, et al., 2020; Sampaio et al., 2014).

- Clasificación.

La clasificación más utilizada por los científicos deportivos corresponde a un método geométrico, basada en tres estructuras: nodo o centro geométrico (CG), línea o distancia y área o espacio (Frencken et al., 2011; Low et al., 2020).

El CG representa el posicionamiento relativo del equipo en desplazamientos de adelanta a atrás y de lado a lado (macro-estructura) (Araújo & Davids, 2016), proporcionado información sobre los desplazamientos producidos, la superficie abarcada, el radio del equipo, la fase relativa y los índices de estiramiento (Frencken et al., 2011; Rico-González, 2020). La línea reproduce la distancia entre compañeros, adversarios, CG, balón o porterías (Rico-González, Arcos, Rojas-Valverde, et al., 2020). El área define la ocupación del espacio del jugador/ es o de los equipos en cada momento de juego (Pino-Ortega & Rico-González, 2021).



ILUSTRACIÓN 2. VARIABLES TÁCTICAS.

Para un análisis táctico más detallada es necesario considerar las sub-variables que estudiaremos en la siguiente tabla:

TABLA 9. SUB-VARIABLES TÁCTICAS.

Variable	Sub-variable	Aplicación práctica	Referencia
Centro geométrico	CG contabilizando portero.	En la actualidad no se contempla el portero en el CG.	Rico-González, et al. (2020)

Centro geométrico	CG sin contabilizar el portero.	Valor genérico que cuantifica el desplazamiento del equipo hacia delante-atrás y de lado a lado.	Araújo & Davids (2016)
Centro geométrico	CG como el centro del convex hull.	Área de ocupación de un equipo cuantificando el centro geométrico.	Moura et al. (2011)
Línea o distancia	Jugador-jugador.	Presión ejercida por un jugador rival o distancia entre compañeros.	Esteves et al. (2016)
Línea o distancia	Jugador-CG.	Presión ejercida por el equipo hacia el jugador.	Reilly & Korkusuz (2011)
Línea o distancia	Jugador-balón.	Distancia entre un determinado jugador y el balón en las direcciones x e y.	Reilly & Korkusuz (2011)
Línea o distancia	CG-CG.	Ver la presión entre equipos.	Passos et al. (2006)
Línea o distancia	CG-balón.	Presión ejercida por el grupo hacia el poseedor del balón.	Rico-González et al. (2020)
Línea o distancia	Jugador-espacio.	Distancia entre una determinada zona de juego y un jugador.	Esteves et al. (2016)
Línea o distancia	Espacio-CG.	Conocer la separación entre el área y el equipo.	Passos et al. (2006)

Área	Espacio ocupado.	Diseño de tareas integrando el espacio real del equipo en competición.	Clemente et al. (2013)
Área	Espacio de exploración.	de Debe tenerse en cuenta que equipo tiene la posesión de balón. Recomendable realizarlo por subsistemas (parejas de jugadores, interlínea o interlínea).	Rico-González et al. (2021)
Área	Espacio de influencia.	de Evolución del espacio de influencia teniendo en cuenta la relación entre dos equipos.	Rico-González et al. (2021)

1.2.2. Variables neuromusculares basadas en sensores inerciales

- Definición y origen.

Las variables neuromusculares son definidas como acciones de fuerza realizadas por el deportista interactuando con el entorno competitivo y la gravedad (Gómez-Carmona et al., 2020). Los datos son registrados por medio de sensores inerciales como acelerómetros, y de ellos obtenemos datos de saltos, impactos, carga de trabajo o aceleraciones (Delaney et al., 2018). Los acelerómetros se introdujeron a mitad del siglo XX (Culhane et al., 2005) y desde entonces se han desarrollado y perfeccionado para el deporte, ofreciendo validez y fiabilidad de los datos obtenidos, comodidad y seguridad para el deportista, permitiendo la valoración cuantitativa del movimiento deportivo (Lemoyne et al., 2008).

- Clasificación.

Para la clasificación de las variables neuromusculares, las distribuimos entre variables de demandas máximas, donde el deportista realiza acciones como aterrizajes, saltos, impactos o aceleraciones al máximo de su capacidad, y variables de demandas acumuladas, donde se cuantifica el total de la carga de trabajo asociado al entrenamiento o partido mediante variables como carga del

jugador, carga corporal o carga total (Gómez-Carmona et al., 2020; Pino-Ortega & Rico-González, 2021).

La variable más estudiada es la carga de trabajo o Played Load (PLTM), regulada por los minutos de entrenamiento o partido. Actualmente las empresas cuantifican la carga de trabajo por medio de los tres ejes vertical, anteroposterior y lateral (PLx, PLy y PLz) con la finalidad de cuantificar una carga de trabajo con mayor veracidad y hallar cuál de los 3 ejes presenta mayor conexión con la fatiga (Reche-Soto et al., 2020). La carga de trabajo o PLTM es una variable neuromuscular válida para el control del volumen del futbolista y poder anticipar las lesiones a lo largo de la temporada (Bowen et al., 2017). Los estudios recientes, muestran que PLTM representa más del 50% de la carga total de trabajo (Pino-Ortega & Rico-González, 2021).

TABLA 10. VARIABLES NEUROMUSCULARES

Variable	Definición	Referencias
AcelT.	Suma de las aceleraciones en los 3 ejes por medio de una raíz cuadrada.	Reche-Soto et al. (2020)
Carga corporal.	Indicador basado en la carga producida por las aceleraciones en los 3 ejes de movimiento.	Knechtle (2019)
Impactos	Impactos que superan los 5G.	Arruda et al. (2015)
Carga de tensión dinámica.	Índice sumatorio de los impactos superiores a 4G.	Pino-Ortega & Rico-González (2021)
Carga de impulso.	Sumatorio de las fuerzas en los 3 ejes de movimiento respecto a la gravedad.	Gil (2021)
Carga de trabajo.	Tasa de trabajo basada en los cambios de velocidad producidos por el jugador.	Beato & Drust (2020)

Eficiencia locomotora.	Índice de carga relativo a la distancia recorrida y a la carga de trabajo.	Barrett et al. (2016a)
Carga total.	Sumatorio de todas las fuerzas en los 3 ejes de movimiento escalado en 1000.	Stevens et al. (2017)

1.2.3. Variables fisiológicas basadas en otros sensores

- Definición y origen.

Las variables fisiológicas son las respuestas biológicas que produce el cuerpo humano frente a un esfuerzo (Sparks et al., 2017). El uso de estas medidas en el deporte comenzó en los años 90, siendo habitual su uso hoy día en la práctica deportiva tanto de deportes colectivos como individuales (Forner Llácer, 2021).

- Clasificación.

La clasificación de estas variables se establece en base a indicadores objetivos como la frecuencia cardiaca y el nivel de lactato en sangre, e indicadores subjetivos del esfuerzo y bienestar percibido (Pino-Ortega & Rico-González, 2021; Rojas-Inda, 2018).

TABLA 11. VARIABLES FISIOLÓGICAS DE CARÁCTER SUBJETIVO

Variable	Definición	Referencias
Cuestionario Wellness	Estado subjetivo de bienestar en el que se encuentra el jugador antes de realizar una sesión de entrenamiento o partido basado en la calidad del sueño, dolor muscular, nivel de fatiga y estrés.	Saidi et al. (2022)
Escala de Borg	Percepción subjetiva del esfuerzo realizado por el jugador tras una sesión de entrenamiento o partido.	Clemente et al. (2019)

TABLA 12. VARIABLES FISIOLÓGICAS DE CARÁCTER OBJETIVO

Variable	Definición	Referencias
TRIMP de Banister	Calcula la relación entre la frecuencia cardiaca y el nivel de lactato en sangre.	Banister (1991)
TRIMP de Edwards	Establece 5 zonas de trabajo en base a la frecuencia cardiaca máxima; 50-60%, 60-70%, 70-80%, 80-90% y >90%, a partir del tiempo de trabajo realizado en cada intervalo nos proporciona la evaluación del esfuerzo físico	Edwards (1993)
TRIMP de Lucia	Individualizada las zonas de trabajo en base a un test de laboratorio.	Lucia et al. (2000)
TRIMPMOD	Valoración del esfuerzo reflejando el carácter intermitente del juego, por ello, a las 5 zonas de trabajo establecidas por Edwards, añade 2 zonas para el nivel de lactato en sangre; 1,5 mmol·l ⁻¹ y 4 mmol·l ⁻¹ .	Stagno et al. (2007)

1.3. Bibliografía

- Abbott, W., Brickley, G., Smeeton, N. J., & Mills, S. (2018). Individualizing Acceleration in English Premier League Academy Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(12), 3503-3510. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002875>
- Adesida, Y., Papi, E., & McGregor, A. H. (2019). Exploring the Role of Wearable Technology in Sport Kinematics and Kinetics: A Systematic Review. *Sensors*, 19(7), 1597. <https://doi.org/10.3390/s19071597>
- Alarifi, A., Al-Salman, A., Alsaleh, M., Alnafessah, A., Al-Hadhrami, S., Al-Ammar, M. A., & Al-Khalifa, H. S. (2016). Ultra Wideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent Advances. *Sensors*, 16(5), 707. <https://doi.org/10.3390/s16050707>
- Araújo, D., & Davids, K. (2016). Team Synergies in Sport: Theory and Measures. *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01449>
- Araújo, 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>
- Araújo, D., Fonseca, C., Davids, K., Garganta, J., Volossovitch, A., Brandão, R., & Krebs, R. (2010). The role of ecological constraints on expertise development. *Talent Development and Excellence*, 2(2), 165-179. <https://doi.org/10.3691/j19761.498>
- Arruda, A. F. S., 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>
- Aughey, R., & Fallon, C. (2010). Real-time versus post-game GPS data in team sports. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(3), 348-349. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.01.006>
- Banister, E.W. (1991). Modeling elite athletic performance. In: MacDougall, JD, Wenger HA, Green HJ (eds.) Physiological Testing of Elite Athletes. *Champaign, Illinois: Human Kinetics*, 403–424.
- Barrett, S., Midgley, A., Reeves, M., Joel, T., & Franklin, E. (2016a). 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.

- Bastida-Castillo, A., Gómez-Carmona, C. D., De La Cruz Sánchez, E., & Pino-Ortega, J. (2019). Comparing accuracy between global positioning systems and ultra-wideband-based position tracking systems used for tactical analyses in soccer. *European Journal of Sport Science*, 19(9), 1157-1165. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1584248>
- Beato, M., & Drust, B. (2020). Acceleration intensity is an important contributor to the external and internal training load demands of repeated sprint exercises in soccer players. *Research in Sports Medicine*, 1-10. <https://doi.org/10.1080/15438627.2020.1743993>
- Beato, M., Drust, B., & Iacono, A. D. (2020). Implementing High-speed Running and Sprinting Training in Professional Soccer. *International Journal of Sports Medicine*, a-1302-7968. <https://doi.org/10.1055/a-1302-7968>
- Bergamini, E., Ligorio, G., Summa, A., Vannozzi, G., Cappozzo, A., & Sabatini, A. (2014). Estimating Orientation Using Magnetic and Inertial Sensors and Different Sensor Fusion Approaches: Accuracy Assessment in Manual and Locomotion Tasks. *Sensors*, 14(10), 18625-18649. <https://doi.org/10.3390/s141018625>
- Boerema, S., van Velsen, L., Schaake, L., Tönis, T., & Hermens, H. (2014). Optimal Sensor Placement for Measuring Physical Activity with a 3D Accelerometer. *Sensors*, 14(2), 3188-3206. <https://doi.org/10.3390/s140203188>
- 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>
- Breddy, S. (2018). The effect of starting velocity on maximal acceleration capacity in elite level youth football players (Doctoral dissertation, University of Glasgow).
- Brunner, T., Lauffenburger, J.-P., Changey, S., & Basset, M. (2015). Magnetometer-Augmented IMU Simulator: In-Depth Elaboration. *Sensors*, 15(3), 5293-5310. <https://doi.org/10.3390/s150305293>
- 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>
- Camomilla, V., Bergamini, E., Fantozzi, S., & Vannozzi, G. (2018). Trends Supporting the In-Field Use of Wearable Inertial Sensors for Sport Performance Evaluation: A Systematic Review. *Sensors*, 18(3), 873. <https://doi.org/10.3390/s18030873>

- Carling, C. (2001). Getting the most out of football video and match analysis. *Insight FA Coaches Association Journal*, 5(3), 16-17.
- Carling, C., Bloomfield, J., Nelsen, L., & Reilly, T. (2008a). The role of motion analysis in elite soccer: Contemporary performance measurement techniques and work rate data. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 38(10), 839-862. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838100-00004>
- Carling, C., Bloomfield, J., Nelsen, L., & Reilly, T. (2008b). 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>
- Casamichana, D., & Castellano, J. (2014). Situational variables and distance covered during the world cup Southafrica'10. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* vol. 14 (56) pp. 603-617
<Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista56/artvariables529.htm>.
- Casamichana-Gómez, D., Quintana, J. S. R., González, J. C., & Paulis, J. C. (2015). Los Juegos Reducidos en el entrenamiento del fútbol. *Fútbol de libro*, 50.
- Castellano, J., & Casamichana, D. (2014). Deporte con dispositivos de posicionamiento global (GPS): Aplicaciones y limitaciones. *Revista de Psicología del Deporte.*, 23, 11.
- Castells, C. B., Romero, J. G., García, J. F., & Cruz, J. A. (2015). Métodos actuales de análisis del partido de 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*, 15(60), 785-803. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54243097011>
- Clemente, F. M., Couceiro, M., Martins, F., & Mendes, R. (2013). An Online Tactical Metrics Applied to Football Game. *Res J Appl Sci Eng and Technol*, 2013; 5(5): 1700-1719.
- Clemente, F. M., Rabbani, A., & Araújo, J. P. (2019). Ratings of perceived recovery and exertion in elite youth soccer players: Interchangeability of 10-point and 100-point scales. *Physiology & Behavior*, 210, 112641. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2019.112641>
- Barreto Cortes, D. A. (2020). Uso de dispositivos tecnológicos para la cuantificación de la carga externa e interna en jugadores de fútbol profesional en competencia: una revisión sistemática.
- 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 Sensors in Team Sports: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 43(10), 1025-1042. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0069-2>
- Davids, K., Araújo, D., Vilar, L., Renshaw, I., & Pinder, R. (2013). An Ecological Dynamics Approach to Skill Acquisition: Implications for Development of Talent in Sport. 15. *Talent Development and Excellence*, 5(1), 21-34. <https://eprints.qut.edu.au/219712/>
- Delaney, J. A., Cummins, C. J., Thornton, H. R., & Duthie, G. M. (2018). Importance, Reliability, and Usefulness of Acceleration Measures in Team Sports. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(12), 3485-3493. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001849>
- 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>
- Dobson, B., & Keogh, J. (2007). Methodological issues for the application of time-motion analysis research. *Strength and Conditioning Research*, 29(2), 48-55.
- Doğramac, S. N., Watsford, M. L., & Murphy, A. J. (2011). The Reliability and Validity of Subjective Notational Analysis in Comparison to Global Positioning System Tracking to Assess Athlete Movement Patterns. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(3), 852-859. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c69edd>
- Duffield, R., Reid, M., Baker, J., & Spratford, W. (2010). Accuracy and reliability of GPS devices for measurement of movement patterns in confined spaces for court-based sports. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(5), 523-525. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.07.003>
- Edwards, S. (1993). *The Heart Rate Monitor Book*. Sacramento, CA: Fleet Feet Press.
- Enge, P., & Misra, P. (1999). Special Issue on Global Positioning System. *Proceedings of the IEEE*, 87(1), 3-15. <https://doi.org/10.1109/JPROC.1999.736338>
- 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>
- Faude, O., Koch, T., & Meyer, T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *Journal of Sports Sciences*, 30(7), 625-631. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.665940>
- Felipe, J. L., Garcia-Unanue, J., Viejo-Romero, D., Navandar, A., & Sánchez-Sánchez, J. (2019). Validation of a Video-Based Performance Analysis System (Mediacoach®) to Analyze the

- Physical Demands during Matches in LaLiga. *Sensors*, 19(19), 4113. <https://doi.org/10.3390/s19194113>
- FIFA. (2015). *The Approval of Electronic Performance Tracking Systems (EPTS) Devices*. Zurich Switzerland: Federation Internationale de Football Association. Circular No.: 1494.
- FIFA. (2020). Informes de rendimiento de calidad de la FIFA para EPTS. Tecnología de fútbol. <https://Football-technology.fifa.com/en/media-tiles/fifa-quality-performance-reports-for-epts/>.
- Figueiredo, L. S., Bredt, S. D. G. T., Praça, G. M., Paula, L. V. de, Silva, P. C. R., Andrade, A. G. P. de, Greco, P. J., & Chagas, M. H. (2016). Confiabilidade das medidas de demanda física, fisiológica e tática em pequenos jogos com superioridade e igualdade numérica no futebol. *Brazilian Journal of Kinanthropometry and Human Performance*, 18(5), 602. <https://doi.org/10.5007/1980-0037.2016v18n5p602>
- Fong, W. T., Ong, S. K., & Nee, A. Y. C. (2008). Methods for in-field user calibration of an inertial measurement unit without external equipment. *Measurement Science and Technology*, 19(8), 085202. <https://doi.org/10.1088/0957-0233/19/8/085202>
- Forner Llácer, F. J. (2021). La variabilidad de la frecuencia cardiaca como indicador de fatiga en el fútbol profesional. Tesis doctoral.
- Frencken, W., Lemmink, K., Delleman, N., & Visscher, C. (2011). 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>
- García-Calvo, T., González-Ponce, I., Ponce, J. C., Tomé-Lourido, D., & Vales Vázquez, Á. (2019). Incidencia del sistema de puntuación de las tareas sobre la carga mental del entrenamiento en fútbol. *Revista de psicología del deporte*, 28(2), 0079-86.
- Gibson, J. J. (1979). The Ecological Approach to the Visual Perception. *Leonardo*, 11(3), 227. <https://doi.org/10.2307/1574154>
- Gil, D. P. G. (2021). Análisis de la fuerza centrípeta como parámetro de carga externa en fútbol. Proyecto de investigación Tesis Doctoral. 149.
- Gómez-Carmona, C. D., Bastida-Castillo, A., Ibáñez, S. J., & Pino-Ortega, J. (2020). Accelerometry as a method for external workload monitoring in invasion team sports. A systematic review. *PLOS ONE*, 15(8), e0236643. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236643>
- Gómez-Díaz, A. J., Pallarés, J. G., & Díaz, A. (2013). 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.

- Gutierrez, J., Castellano, J., Casamichana, D., & Sánchez-Sanchez, J. (2017). Influencia del tamaño del campo y horario del partido en la respuesta física de equipos de la Segunda División Española de Fútbol (Effect of pitch size and time of the match in the physical performance of teams the Spanish Second Division). *Retos*, 33, 213-216.
<https://doi.org/10.47197/retos.v0i33.55587>
- Hader, K., Rumpf, M. C., Hertzog, M., Kilduff, L. P., Girard, O., & Silva, J. R. (2019). Monitoring the Athlete Match Response: Can External Load Variables Predict Post-match Acute and Residual Fatigue in Soccer? A Systematic Review with Meta-analysis. *Sports Medicine - Open*, 5(1), 48. <https://doi.org/10.1186/s40798-019-0219-7>
- 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>
- Harper, D. J., Carling, C., & Kiely, J. (2019). High-Intensity Acceleration and Deceleration Demands in Elite Team Sports Competitive Match Play: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. *Sports Medicine*, 49(12), 1923-1947. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01170-1>
- Hughes, M. D., & Bartlett, R. M. (2002). The use of performance indicators in performance analysis. *Journal of sports sciences*, 20(10), 739-754.
- Hughes, M., & Franks, I. M. (Eds.). (2004). Notational analysis of sport: Systems for better coaching and performance in sport. *Psychology Press*.
- IFAB. (2020). Laws of the Game 20-21.
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2019). Internal and External Training Load: 15 Years On. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(2), 270-273. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0935>
- 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>
- James, N. (2006). Notational analysis in soccer: past, present and future. *International journal of performance analysis in sport*, 6(2), 67-81.

- Jovanov, E., Milenkovic, A., Otto, C., & de Groen, P. C. (2005). A wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2(1), 6. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-2-6>
- Knechtle, B. (2019). Dose-Response Relationship Between External Load Variables, Body Composition, and Fitness Variables in Professional Soccer Players. *Frontiers in Physiology*, 10, 9.
- Kupperman, N., & Hertel, J. (2020). Global Positioning System–Derived Workload Metrics and Injury Risk in Team-Based Field Sports: A Systematic Review. *Journal of Athletic Training*, 55(9), 931-943. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-473-19>
- Lago-Peñas, C., & García, A. (2016). The influence of a congested fixture calendar on physical performance in elite soccer. *Cuadernos de Psicología del Deporte*, 16, 7.
- Lago-Peñas, C., & Sanromán Álvarez, P. (2020). La influencia de la posesión del balón en el rendimiento físico en el fútbol profesional. Una revisión sistemática. *JUMP*, 2. <https://doi.org/10.17561/jump.n2.7>
- Larsson, P. (2003). Global positioning system and sport-specific testing. *Sports Med* 2003; 33: 1093–1101.
- Lemoyne, R., Coroian, C., Mastroianni, T., & Grundfest, W. (2008). Accelerometers for quantification of gait and movement disorders: a perspective review. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, 8(02), 137-152. <https://doi.org/10.1142/S0219519408002656>
- Leser, R., Baca, A., & Ogris, G. (2011). Local positioning systems in (game) sports. *Sensors*, 11(10), 9778-9797.
- Leser, R., Baca, A., & Ogris, G. (2011). Local Positioning Systems in (Game) Sports. *Sensors*, 11(10), 9778-9797. <https://doi.org/10.3390/s111009778>
- Linke, D., Link, D., & Lames, M. (2020). Football-specific validity of TRACAB's optical video tracking systems. *PLOS ONE*, 15(3), e0230179. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230179>
- 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>
- Lucia, A., Hoyos, J., Perez, M., & Chicharro, J. L. (2000). Heart rate and performance parameters in elite cyclists: A longitudinal study. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(10), 1777-1782. <https://doi.org/10.1097/00005768-200010000-00018>

- Lutz, J., Memmert, D., Raabe, D., Dornberger, R., & Donath, L. (2019). Wearables for Integrative Performance and Tactic Analyses: Opportunities, Challenges, and Future Directions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1), 59. <https://doi.org/10.3390/ijerph17010059>
- 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(s2), S2-18-S2-26. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0236>
- Malone, S., Owen, A., Mendes, B., Hughes, B., Collins, K., & Gabbett, T. J. (2018). High-speed running and sprinting as an injury risk factor in soccer: Can well-developed physical qualities reduce the risk? *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(3), 257-262. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.05.016>
- Meylan, C., Trewin, J., & McKean, K. (2017). Quantifying Explosive Actions in International Women's Soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(3), 310-315. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0520>
- Miguelés, 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>
- Moura, F. A., Santana, J. E., Marche, A. L., Aguiar, T. H., Rodrigues, A. C. M., de Barros, R. M., & Cunha, S. A. (2011). Quantitative analysis of futsal players organization on the courts. In *ISBS-Conference Proceedings Archive*.
- Nagahara, R., Kameda, M., Neville, J., & Morin, J. (2019). Inertial measurement unit-based hip flexion test as an indicator of sprint performance. *J. Sports Sci.* 2019, 1–9.
- Nakamura, F. Y., Pereira, L. A., Loturco, I., Rosseti, M., Moura, F. A., & Bradley, P. S. (2017). Repeated-Sprint Sequences During Female Soccer Matches Using Fixed and Individual Speed Thresholds: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(7), 1802-1810. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001659>
- Nevado-Garroza, F., Tejero-González, C. M., Paredes-Hernández, V., & Campo-Vecino, J. D. (2015). Análisis comparativo de las demandas físicas de dos tareas de juego reducido en fútbol profesional. *Arch Med Deporte*, 10, 30.

- Newans, T., Bellinger, P., Dodd, K., & Minahan, C. (2019). Modelling the Acceleration and Deceleration Profile of Elite-level Soccer Players. *International Journal of Sports Medicine*, 40(05), 331-335. <https://doi.org/10.1055/a-0853-7676>
- Niu, X., Li, Y., Zhang, H., Wang, Q., & Ban, Y. (2013). Fast Thermal Calibration of Low-Grade Inertial Sensors and Inertial Measurement Units. *Sensors*, 13(9), 12192-12217. <https://doi.org/10.3390/s130912192>
- Núñez, F. J., Toscano-Bendala, F. J., Suarez-Arrones, L., Martínez-Cabrera, F. I., & De Hoyo, M. (2018). Individualized thresholds to analyze acceleration demands in soccer players using GPS (Umbrales individualizados para analizar las demandas en la aceleración en futbolistas usando GPS). *Retos*, 35, 75-79. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i35.60402>
- 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.
- Olthof, S. B. H., Frencken, W. G. P., & Lemmink, K. A. P. M. (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>
- Oxendale, C. L., Highton, J., & Twist, C. (2017). Energy expenditure, metabolic power and high speed activity during linear and multi-directional running. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(10), 957-961. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.03.013>
- Pacheco, R. (2007). La enseñanza y el entrenamiento del fútbol 7: Un juego de iniciación al fútbol 11.
- Palucci Vieira, L. H., Carling, C., Barbieri, F. A., Aquino, R., & Santiago, P. R. P. (2019b). Match Running Performance in Young Soccer Players: A Systematic Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(2), 289-318. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-01048-8>
- Parlebas, P. (2002). Elementary mathematical modelization of games and sports. In *The explanatory power of models: Bridging the gap between empirical and theoretical research in the social sciences* (pp. 197-227). Dordrecht: Springer Netherlands.

- Passaro, V. M. N., Cuccovillo, A., Vaiani, L., De Carlo, M., & Campanella, C. E. (2017). Gyroscope Technology and Applications: A Review in the Industrial Perspective. *Sensors*, 17(10), 2284. <https://doi.org/10.3390/s17102284>
- Passos, P., Araújo, D., Davids, K., Gouveia, L., & Serpa, S. (2006). Interpersonal dynamics in sport: The role of artificial neural networks and 3-D analysis. *Behavior Research Methods*, 38(4), 683-691. <https://doi.org/10.3758/BF03193901>
- Paulis, J. C., & Gómez, D. C. (2014). Alternativas en la monitorización de las demandas físicas en fútbol: pasado, presente y futuro. *Revista Española de Educación Física y Deportes*, (404), 41-58.
- Pelham, T. W., Robinson, M. G., & Holt, L. E. (2006). Assessing human movement with accelerometry. *Work*, 27(1), 21-28.
- Picerno, P., Camomilla, V., & Capranica, L. (2011). Countermovement jump performance assessment using a wearable 3D inertial measurement unit. *Journal of Sports Sciences*, 29(2), 139-146. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.523089>
- Pino-Ortega, J., & Rico-González, M. (2021). *The Use of Applied Technology in Team Sport* (1.^a ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003157007>
- 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>
- 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. <https://doi.org/10.15366/rimcafd2020.77.011>
- 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., & Korkusuz, F. (Eds.). (2011). *Science and Football VI: The proceedings of the Sixth World Congress on Science and Football*. Routledge.
- Reinhardt, L., Schwesig, R., Lauenroth, A., Schulze, S., & Kurz, E. (2019). Enhanced sprint performance analysis in soccer: New insights from a GPS-based tracking system. *PLOS ONE*, 14(5), e0217782. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217782>

- Rico-González, M. (2020). Análisis del comportamiento táctico colectivo basado en el dato de posicionamiento en los deportes de equipo: *Revisión sistemática de las variables tácticas colectivas y valoración de la calidad de la medida*.
- Rico-González, M., Arcos, A. L., Rojas-Valverde, D., Clemente, F. M., & Pino-Ortega, J. (2020). A Survey to Assess the Quality of the Data Obtained by Radio-Frequency Technologies and Microelectromechanical Systems to Measure External Workload and Collective Behavior Variables in Team Sports. *Sensors*, 20(8), 2271.
- Rico-González, M., Los Arcos, A., Clemente, F. M., Rojas-Valverde, D., & Pino-Ortega, J. (2020). Accuracy and Reliability of Local Positioning Systems for Measuring Sport Movement Patterns in Stadium-Scale: A Systematic Review. *Applied Sciences*, 10(17), 5994. <https://doi.org/10.3390/app10175994>
- Rico-González, M., Los Arcos, A., Nakamura, F. Y., Moura, F. A., & Pino-Ortega, J. (2020). The use of technology and sampling frequency to measure variables of tactical positioning in team sports: A systematic review. *Research in Sports Medicine*, 28(2), 279-292. <https://doi.org/10.1080/15438627.2019.1660879>
- Rico-González, M., Ortega, J., Nakamura, F., Moura, F., & Arcos, A. (2021). Identification, Computational Examination, Critical Assessment and Future Considerations of Spatial Tactical Variables to Assess the Use of Space in Team Sports by Positional Data: A Systematic Review. *Journal of Human Kinetics*, 77, 205-221. <https://doi.org/10.2478/hukin-2021-0021>
- Rico-González, M., Pino-Ortega, J., Nakamura, F. Y., Arruda Moura, F., Rojas-Valverde, D., & Los Arcos, A. (2020). Past, present, and future of the technological tracking methods to assess tactical variables in team sports: A systematic review. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 234(4), 281-290. <https://doi.org/10.1177/1754337120932023>
- Rico-González, M., Pino-Ortega, J., Nakamura, F. Y., Arruda-Moura, F., & Los Arcos, A. (2020). Origin and modifications of the geometrical centre to assess team behaviour in team sports: A systematic review. [Origen y modificaciones del punto geométrico para evaluar el comportamiento táctico colectivo en deportes de equipo: una revisión sistemática]. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias Del Deporte*, 16(61), 318-329. <https://doi.org/10.5232/ricyde2020.06106>

- 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>
- De Hoyo Lora, M., & Rodríguez, Á. A. (2017). Tecnologías aplicadas al fútbol: sistemas de posicionamiento global (GPS). Nuevas tecnologías aplicadas a la actividad física y el deporte. Navarra, España: Thomson Reuters Aranzadi, 69-86. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30526.54083>
- Rojas-Inda, S. (2018). Analysis of internal and external load in small games in young football players. *International Journal of Medicine & Science of Physical Activity & Sport/Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 18(71). <https://doi.org/10.15366/rimcafd2018.71.004>
- Saidi, K., Zouhal, H., Boullosa, D., Dupont, G., Hackney, A. C., Bideau, B., Granacher, U., & Ben Abderrahman, A. (2022). Biochemical Markers and Wellness Status During a Congested Match Play Period in Elite Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17(4), 605-620. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0914>
- 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>
- Schöllhorn, W. (2003). Coordination dynamics and its consequences on sports. *International Journal of Computer Science in Sport*, 2(2), 40-46.
- Setterwall, D., Balsom, P., Walldius, Å., & Sundblad, Y. (2003). Computerised video analysis of football-technical and commercial possibilities for football coaching. *Unpublished Masters Thesis. Stockholms Universitet*.
- Shen, N., Chen, L., Liu, J., Wang, L., Tao, T., Wu, D., & Chen, R. (2019). A Review of Global Navigation Satellite System (GNSS)-based Dynamic Monitoring Technologies for Structural Health Monitoring. *Remote Sensing*, 11(9), 1001. <https://doi.org/10.3390/rs11091001>
- Sparks, M., Coetzee, B., & Gabbett, T. J. (2017). Internal and external match loads of university-level soccer players: A comparison between methods. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(4), 1072-1077.

- Stagno, K. M., Thatcher, R., & van Someren, K. A. (2007). A modified TRIMP to quantify the in-season training load of team sport players. *Journal of Sports Sciences*, 25(6), 629-634. <https://doi.org/10.1080/02640410600811817>
- Stevens, T. G. A., de Ruiter, C. J., Twisk, J. W. R., Savelsbergh, G. J. P., & Beek, P. J. (2017). Quantification of in-season training load relative to match load in professional Dutch Eredivisie football players. *Science and Medicine in Football*, 1(2), 117-125. <https://doi.org/10.1080/24733938.2017.1282163>
- Stevens, T. G. A., de Ruiter, C. J., van Niel, C., van de Rhee, R., Beek, P. J., & Savelsbergh, G. J. P. (2014a). 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/ijsp.2013-0340>
- Stevens, T. G. A., de Ruiter, C. J., van Niel, C., van de Rhee, R., Beek, P. J., & Savelsbergh, G. J. P. (2014b). 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/ijsp.2013-0340>
- Sweeting, A. J., Cormack, S. J., Morgan, S., & Aughey, R. J. (2017a). When Is a Sprint a Sprint? A Review of the Analysis of Team-Sport Athlete Activity Profile. *Frontiers in Physiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00432>
- Sweeting, A. J., Cormack, S. J., Morgan, S., & Aughey, R. J. (2017b). When Is a Sprint a Sprint? A Review of the Analysis of Team-Sport Athlete Activity Profile. *Frontiers in Physiology*, 8, 432. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00432>
- Tomazoli, G., Marques, J. B., Farooq, A., & Silva, J. R. (2020). Estimating Postmatch Fatigue in Soccer: The Effect of Individualization of Speed Thresholds on Perceived Recovery. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(9), 1216-1222. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0399>
- Treviño, G. (2014). Trilateración: Sismos, GPS, rayos y teléfonos celulares, y la XIX Olimpiada de Ciencias de la Tierra. 34(2), 15.
- Trewin, J., Meylan, C., Varley, M. C., & Cronin, J. (2018). The match-to-match variation of match-running in elite female soccer. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(2), 196-201. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.05.009>
- Van Gool, D., Van Gerven, D., & Boutmans, J. (1998). The physiological load imposed on soccer players during real match-play. *Science and Football (Routledge Revivals)* (pp. 51-59).

- Van Hees, V. T., Fang, Z., Langford, J., Assah, F., Mohammad, A., da Silva, I. C. M., Trenell, M. I., White, T., Wareham, N. J., & Brage, S. (2014). Autocalibration of accelerometer data for free-living physical activity assessment using local gravity and temperature: An evaluation on four continents. *Journal of Applied Physiology*, 117(7), 738-744.
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00421.2014>
- Varley, M. C. (2013). Acceleration and Fatigue in Soccer. (Doctoral dissertation, Victoria University).
- Whitehead, S., Till, K., Weaving, D., & Jones, B. (2018). The Use of Microtechnology to Quantify the Peak Match Demands of the Football Codes: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 48(11), 2549-2575. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0965-6>
- 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.

BLOQUE II. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

2.1. Hipótesis

- No hay consenso en la literatura a la hora de cuantificar la carga mediante umbrales de velocidad y aceleración.
- Habrá una distorsión entre la percepción subjetiva de la velocidad por parte del cuerpo técnico y el valor objetivo de la velocidad proporcionado por (GNSS).
- Cada jugador necesitará una prueba específica para alcanzar su velocidad máxima.

2.2. Objetivos

2.2.1. Generales

Los objetivos generales de esta tesis doctoral son los siguientes:

- Identificar si existe consenso en aquellos artículos que proponen un umbral individualizado para establecer (i) intensidad de movimiento a diferentes velocidades utilizando sistemas de seguimiento y (ii) aceleraciones utilizando unidades de medida inerciales, clasificando los métodos de justificación.
- Analizar la relación entre la percepción subjetiva de la velocidad por parte del cuerpo técnico frente a los métodos objetivos proporcionados mediante los sistemas de navegación global por satélite (GNSS).
- Cotejar las relaciones entre la percepción subjetiva de la velocidad entre los diferentes integrantes del cuerpo técnico.
- Comprobar las diferencias entre los distintos test de velocidad y las diferencias entre los jugadores en los diferentes test.

2.2.2. Específicos

Los objetivos específicos de esta tesis doctoral son los siguientes:

- Conocer las técnicas utilizadas en la literatura para la obtención de la velocidad máxima del jugador.
- Analizar si la velocidad máxima de cada jugador debe ser analizada con el mismo test, o por si el contrario necesita un test con una distancia adecuada a las características físicas de cada jugador.
- Diseñar un test individualizado a cada jugador basado en su rendimiento deportivo durante la competición.
- Proporcionar herramientas a los preparadores físicos para trabajar las velocidades máximas del jugador mediante estímulos competitivos.

BLOQUE III. ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

3.1. A systematic review of velocity and accelerometer thresholds in soccer.

3.1.1. Introduction

The soccer game is characterized by its intermittent regimen in periods of low-to-moderate intensity interspaced with high-intensity efforts (Dolci et al., 2020). Since the intermittent efforts, monitoring the players' external load (or physical demands) is not as simple as assessing the total distance covered (Hader et al., 2019). In fact, as an intermittent running-based activity, the monitoring process of soccer depends on the intensity of running and the amount of time spent at different velocity thresholds (Castagna et al., 2017). This monitoring process helps coaches and sports scientists to identify the physical demands imposed by the match and to adjust the training load to the individual or collective needs of the players (Buchheit, 2019). A proper individualization of the training stimulus will consider the specific demands of each player (mainly considering playing position), and specific information about physical demands in different intensity zones is required (Beato et al., 2020).

Usually, external load demands imposed by the match are assessed by microelectromechanical instruments, in which the global navigation satellite system, local position system, and/or inertial sensor units are the most popular and used (Crang et al., 2021). These instruments control players' displacement in a specific timeframe, thus allowing to measure not only the distances covered but also the velocity in which these distances are covered or the intensity of accelerations and decelerations during the movements performed (Whitehead et al., 2018). Since the great amount of data generated, the definition of intensity zones becomes essential since coaches should consider the amount of low, moderate, or high demands for each player, aiming to control not only the prevalent intensities but also the determinant ones (Reinhardt et al., 2019).

For example, however, low-intensity running is prevalent in match scenarios. The most determinant running activities are related to the most intensity zones, namely considering the associations with a specific player's performance or using this information to control the injury risk (Malone et al., 2018). Information about peak velocity, high-speed running, or sprinting running has been used to manage training stimulus, implement preventive training programs, or identify mediators or moderators of injury (Buchheit, Simpson, Hader, et al., 2020; Malone et al., 2018). Therefore, establishing thresholds for running or acceleration/deceleration intensities are determinants.

The process of definition of thresholds is not easy and far from being ideal. Velocity thresholds can have a basis on the energetic systems and points of the threshold (Abbott, Brickley, & Smeeton, 2018a,b). However, this would lead to individual velocity thresholds for each player based on capacity (Abt & Lovell, 2009). Despite such an approach, this is not easy to implement, and for that reason, standard velocity thresholds (for all players) are the most common practice in external load monitoring (Jastrzębski & Radziński, 2017). Despite this standardization for all players, the velocity thresholds vary from company to company or study. It also increases the complexity of understanding variations in these demands between players and contexts.

Due to the wide range of running and acceleration/deceleration thresholds used in the literature, it is essential to summarize the evidence and provide recommendations for standardization in the future. It will improve the capacity to compare results across different scenarios and generalize evidence. Although the importance of such summarization, as far as we know, no systematic review has been conducted so far. Therefore, the purpose of this systematic review is to identify if it is a consensus in those articles that purposed a threshold to establish (i) movement intensity at different velocities using tracking systems and (ii) accelerations using inertial measurement units, classifying the justification methods.

3.1.2. Method

The systematic review was reported following the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines (Moher et al., 2009) and the methodology to conduct a systematic review of systematic reviews (Smith et al., 2011).

3.1.2.1. Design

The protocol was not registered prior to the project's initiation and did not require Institutional Review Board approval. The authors performed a systematic search of five databases (i.e. PubMed, Web of Sciences, Cochrane Plus, Proquest, and Scopus) to identify articles published before 4:00 p.m. on 5 October 2020. In all databases, the search was limited to reviews. The authors were not blinded to journal names or manuscript authors. The PICO (Moher et al., 2009) design was used to provide an explicit statement of the question. Three main groups were created: (1) sport: soccer,

football; (2) technology related words: GPS, "global positioning system*", LPS, "Local Positioning Systems", video, camera; (3) variables-related words: "physical performance", "running performance", "match running performance", "movement patterns", "time–motion analysis", "distances covered", "activity profile", "physical profile", "work rate", "match analysis", "match performance", "high intensity", acceleration, deceleration, thresholds, "training load", "acceleration profile", "acceleration zones", "acceleration thresholds", "velocity profile", "velocity thresholds", "velocity zones", "speed zones", "speed thresholds", "speed profile". The keywords were connected with AND to combine the three groups and using OR to link the words of each group.

3.1.2.2. Screening strategy and study selection

When the referred authors had completed the search (FDS, MRG), they compared their results to ensure that the same number of articles were found. Then, one of the authors downloaded the primary data from the articles (title, authors, date, and database) to an Excel spreadsheet (Microsoft Excel, Microsoft, Redmond, USA) and removed the duplicate records. Subsequently, the same authors screened the remaining records to verify the inclusion-exclusion criteria.

TABLA 13. INCLUSION/EXCLUSION CRITERIA

N° Criteria	Inclusion Criteria	Exclusion Criteria
1	Studies developed in soccer	Studies conducted in other sports
2	Studies that identified external training load (velocity or accelerations).	Studies that extracted external TL (not velocity or accelerations) and internal TL. Also, studies not aimed to extract TL.
3	Studies that provide velocity and acceleration threshold using EPTS or IMU.	Studies that assess other technologies.
4	Only original and full-text studies written in English	Written in a other language than English. Other article types than original (e.g., reviews, letters to editors, trial registrations, proposals for protocols, editorials, book chapters and conference abstracts).
5	Justification of the threshold through a test, competition	Studies that did not justify the threshold used.

3.1.2.3. Data analysis

All studies were summarised and then divided into groups depending on the classification type (i.e. velocity or acceleration). The values are presented in Table 2 and 3, extracting the following relevant information: EPTS used for data registration, the manufacturer who belongs to the used EPTS, branch, software in which efforts classification was made, sample, sex, level, task, and thresholds in speed categories. Additionally, these studies were classified depending on the methods used to justify thresholds (e.g. test, maximum speed during training).

3.1.2.4. Methodological Assessment

The quality of studies was not assessed because the study's aim was observational; therefore, absolute values from articles were not considered. Therefore, as no quantitative results were included, no quality survey was utilized as evaluation scales. All 39 articles outlined in Table 1 were assessed for suitability and evaluated by authors prior to inclusion. All studies had to meet all items on criteria list to be included in analysis.

3.1.3. Results

3.1.3.1. Identification and selection of studies

A total of 1982 (i.e. PubMed: 1228; WoK: 754) original articles were initially retrieved from the mentioned databases, of which 679 were duplicates. Thus, a total of 1303 original articles were found. The titles, abstracts and full texts of these works were checked, excluding 686, 99, 518, 127, 33, and 319 by exclusion criteria number 1, 2, 3, 4, and 5, respectively. Thus, 39 articles met all the inclusion criteria and were finally included in the qualitative synthesis.

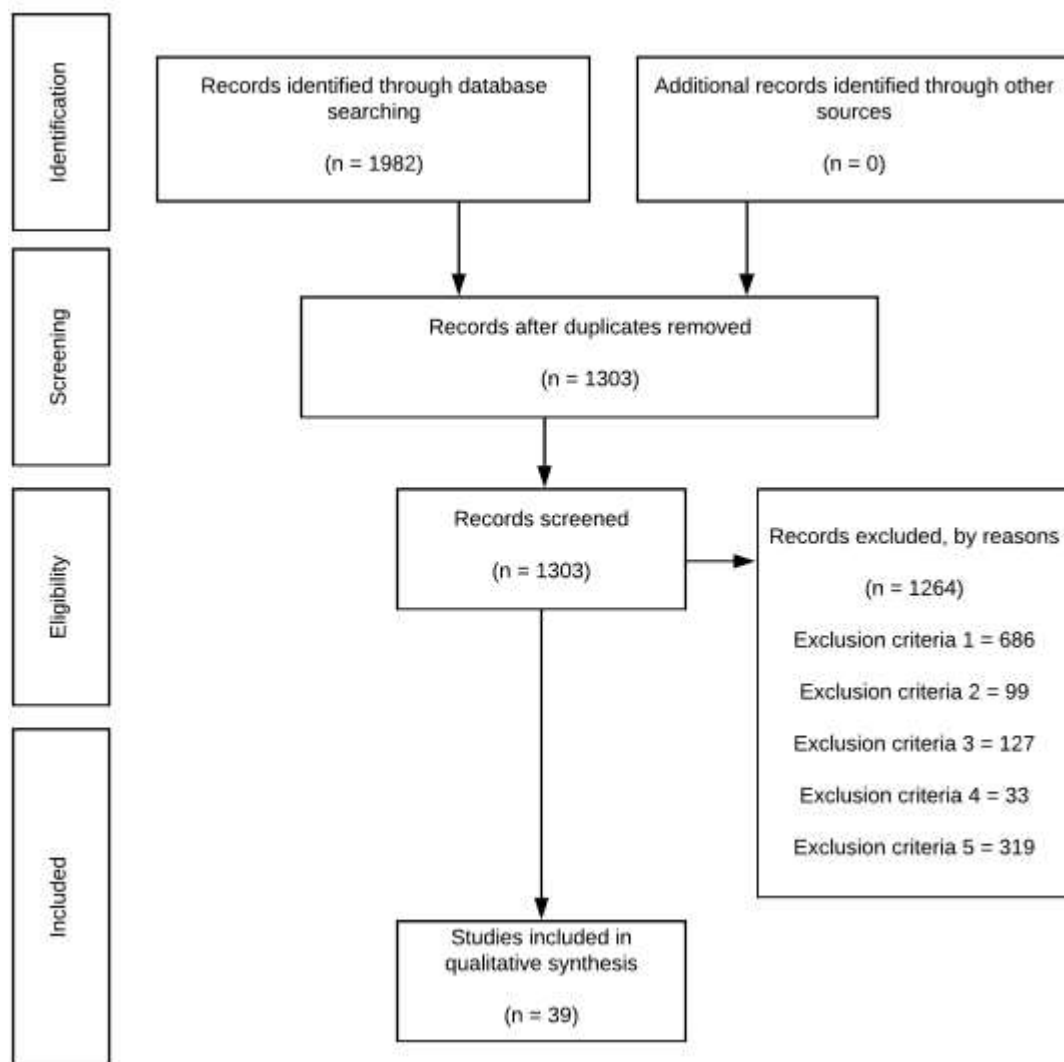


ILUSTRACIÓN 3. FLOW DIAGRAM

3.1.3.2. Study characteristics

TABLA 14. CLASSIFICATION OF SPEED CATEGORIES

Ref.	Obtaining the threshold	EPTS	Manufac- turer	Branch	Software	Sample	Sex	Level	Displacement measurement	Type of displacement	Task	Speed categories					
												Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 6
Maximum speed in 40 meters.																	
Buchheit et al. (2010)	Timing gates at 10, 20, 30 and 40 meters	GPS 1 Hz	GPSports	SPI Elite	Unspecified	99	Male	Youth U13 at U18	Number of repeated- sprint and duration	Unspecified	42 competitive matches				>61% Vmax		
Scantlebury et al. (2020)	Fastest 10 m split of the 40 m sprint with GPS 10 Hz	GPS 10 Hz	Catapult	Optimeye S5	Sprint 5.17	8	Male	Youth U17	Meters	Unspecified	14 week in-season training			<61% Vmax	>61% Vmax		
Hunter et al. (2014)	Timing gates at 10, 20, 30 and 40 meters	GPS 5 Hz	Catapult	Minimax X	Unspecified	12	Male	Youth U18	Meters and percentage of distance covered	Unspecified	22 competitive matches			<49% Vmax	50-59% Vmax	60-79% Vmax	80-100% Vmax
Tomazoli et al. (2020)	Timing gates at 10m, , front foot 0.5 m behind the first timing gate	GPS 10 Hz	Catapult	Optimeye S5	Sprint 5.0.6	12	Male	Youth U19	Meters	Unspecified	10 competitive matches			<49% Vmax	50-59% Vmax	60-79% Vmax	80-100% Vmax
Sparks et al. (2017)	Photocells placed at the start, 30 and 40 m	GPS 10 Hz	Catapult	Minimax X V4.0	Logan Plus V4.7.1	13	Male	University football	Absolute and relative time	Unspecified	5 competitive matches		<34 % Vmax	34-61% Vmax	>61 % Vmax		
Meylan et al. (2017)	Dual-beam timing light system placed at 0, 10 and 40 m with the preferred leg forward 0,3 m behind the starting line and GPS 10 Hz	GPS 10 Hz	Catapult	Minimax S4	Sprint 5.1.0.1	20	Femal e	Professional U20	Meters per minute	Unspecified	34 International friendly matches					>75% Vmax	
Zurutuza et al. (2020)	GPS 10 Hz	GPS 10 Hz	Catapult	Minimax v.4.0	Sprint v5.1.4	16	Male	Semi- professional	Meters per minute	Unspecified	7 microcycles competitive with SSG, MSG, LSG and SG.			<60% Vmax	60-80% Vmax	>80% Vmax	
Zurutuza et al. (2017)	GPS 10 Hz	GPS 10 Hz	Catapult	Minimax S4	Sprint v5.1.4	15	Male	Semi- Professional	Meters and percentage of distance covered	Unspecified	20 training sessions and 8 matches					>%80 Vmax	
Núñez- Sánchez et al. (2017)	The sprint from a standing start with their front foot 0.5 m behind the start line whit GPS 15 Hz	GPS 15 Hz	GPSport	SPI-pro W2b	AMS-R1- 2012.9	20	Male	Semi- professional	Meters per minute	Unspecified	4 friendly matches	In this article 10 ranges were established, where the first level is the velocity <10% of Vmax and the last level is >90% of Vmax					
Scott & Lovell. (2018)	Light gates positioned at 10 m intervals. Players adopted the split stance technique with the front foot positioned 0.5 m before the starting	MEMS 10 Hz	Catapult	Optimeye S5	OpenField V. 1.14.0	22	Femal e	Professional	Meters	Unspecified	21 days training			>50 % Vmax	>65% Vmax		
Scott et al. (2020)	Timing gates at 10m	GPS 10 Hz	Catapult	Optimeye S5	Unspecified	136	Femal e	Professional	Meters	Unspecified	220 competitive matches			>50% Vmax	>65% Vmax	>80% Vmax	
Maximum speed in 20 meters.																	

Ref.	Obtaining the threshold	EPTS	Manufac- turer	Branch	Software	Sample	Sex	Level	Displacement measurement	Type of displacement	Task	Speed categories					
												Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 6
Doncaster & Unnithan. (2019)	From standing with GPS 10 Hz	GPS 10 hz	Catapult	Unspecifi- ed	Sprint v5.1.0	17	Male	Youth U14	Meters	Unspecified	3 training matches				>50% Vmax	>70% Vmax	>90% Vmax
Doncaster et al. (2016)	From standing with GPS 10 Hz	GPS 10 Hz	Catapult	Unspecifi- ed	Catapult	17	Male	Youth U14	Meters and meters per minute	Unspecified	3 training matches				>50 % Vmax	>70 % Vmax	>90% Vmax
Atan et al. (2016)	10m flying to obtain the maximum speed in 20m with GPS 15 Hz. By means of the individual Maximum Speed, the Average Speed for each group was calculated	GPS 15 Hz	GPSports	Unspecifi- ed	Team AMS V12	85	Male	Youth U13 to U15	Meters and meters per minute	Unspecified	2 competitive matches for each group.	U13	0-4 km/h	4-8 km/h	8-13 km/h	13-18 km/h	>18 km/h
												U14	0-4,5 km/h	4,5-8,5 km/h	8,5-13,5 km/h	13,5-18,5 km/h	>18,5 km/h
												U15	0-5 km/h	5-9 km/h	9-14 km/h	14-19 km/h	>19 km/h
Harley et al. (2010)	10m flying to obtain the maximum speed in 20m with timing gates placed at 10 m and 20 m. Through the individual Maximum Speed, the Average Speed for each group was calculated	NdGPS 5 Hz	Catapult	Minimax X	Unspecified	112	Male	Youth U12 to U16	Meters and meters per minute	Unspecified	14 competitive matches between all age groups	U16	0,46-1,8 m/s	1,8-3,6 m/s	3,6-5,04 m/s	5,04-6,41 m/s	>6,41 m/s
												U15	0,44-1,78 m/s	1,78-3,56 m/s	3,56-4,89 m/s	4,89-6,22 m/s	>6,22 m/s
												U14	0,4-1,59 m/s	1,59-3,18 m/s	3,18-4,37 m/s	4,37-5,56 m/s	>5,56 m/s
												U13	0,39-1,58 m/s	1,58-3,16 m/s	3,16-4,34 m/s	4,34-5,53 m/s	>5,53 m/s
												U12	0,38-1,52 m/s	1,52-3,04 m/s	3,04-4,18 m/s	4,18-5,52 m/s	>5,52 m/s
Saward et al. (2016)	Participants completed a 20 m sprint test with a split at 10 m using infrared photoelectric cells	GPS 1 Hz or 5 Hz	GPSports	SPI Elite or SPI Pro	Team AMS, v 2.1	263	Male	Youth U9 to U19	Meters and percentage of distance covered	Unspecified	Players was assessed in 1-29 competitive inter-academy matches, resulting in a total of 988 player-matches.			<45% Vmax	>45% Vmax	>75% Vmax	
Tan et al. (2012)	Using electronic-light timing gates	GPS 5 Hz	Catapult	MiniMax	Logan Plus	10	Femal- e	Professional	Meters, meters per minute and mean speed	Unspecified	3 competitive matches				<75% Vmax	>75% Vmax	
Nakamura et al. (2017)	They were recorded by photocells adjusted to a height of 1 m, from a standing position 0.3 m behind the start line	GPS 5 Hz	GPSports	SPI Elite	Unspecified	11	Femal- e	Professional	Number of sprints, meters, meter per minute and duration (s) of each sprint	Unspecified	10 matches						>90% Vmax
YYIR1 for MAS and peak speed reached during collection for MSS. The ASR was determined as the difference between MSS and MAS.																	

Ref.	Obtaining the threshold	EPTS	Manufacturer	Branch	Software	Sample	Sex	Level	Displacement measurement	Type of displacement	Task	Speed categories					
												Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 6
Rago et al. (2020)	GPS. The peak speed reached during training was assumed to be the MSS	GPS 10 Hz	QStarz	BT-Q1000 Ex	Unspecified	20	Male	Professional	Meters	Unspecified	45 training sessions and 3 friendly matches			<80% MAS	80–99.9% MAS	100% MAS – 29% ASR	≥30% ASR – 100% MSS
Rago et al. (2019)	GPS. The peak speed reached during training was assumed to be the MSS	GPS 10 Hz	QStarz	BT-Q1000 Ex	Unspecified	13	Male	Professional	Meters	Unspecified	42 training sessions and 3 friendly matches				80–99.9% MAS	100% MAS – 29% ASR	≥30% ASR
Vam-Eval maximal incremental running test for MAS, maximum speed in 40 meters for MSS and the ASR was determined as the difference between MSS and MAS.																	
Mendez-Villanueva et al. (2012)	Dual-beam electronic timing gates set at 10-m intervals from standing start with their front foot 0.5 m behind the first timing gate	GPS 1 Hz	GPSports	SPI Elite	Unspecified	103	Male	Youth U13 to U18	Meters	Unspecified	42 competitive matches		60 % of MAS	61 % to 80 % of MAS	81 % to 100 % of MAS	> 101 % of MAS to 30 % of ASR	>31 % of ASR
Hunter et al. (2014)	Timing gates at 10, 20, 30 and 40 meters	GPS 5 Hz	Catapult	Minimax X	Unspecified	12	Male	Youth U18	Meters and percentage of distance covered	Unspecified	22 competitive matches			<79% MAS	80-99% MAS	100-139% MAS	>140% MAS
Abbott et al. (2018)	The fastest speed recorded over any 10m sector, using electronic light gates at 10, 20, 30 and 40 meters	GPS 10 Hz	Catapult	OptimEye S5B, V. 7.18	Sprint 5.1.5	37	Male	Professional U23	Meters	Unspecified	44 competitive matches			<79% MAS	80-99% MAS	100 MAS-29% ASR	>30% ASR
Abbott et al. (2018)	Dual-beam electronic timing gates set at 10-m intervals from standing	GPS 10 Hz	Catapult	Minimax v4.0	Sprint 5.1.5	46	Male	Professional U23	Meters and meters per minute	Unspecified	22 matches and 39 training sessions					100% MAS – 30% ASR	>30% ASR
Vam-Eval maximal incremental running test																	
Scott & Lovell. (2018)	Unspecified	MEMS 10 Hz	Catapult	Optimeye S5	OpenField V. 1.14.0	22	Female	Professional	Meters	Unspecified	21 days training					<80% MAS	80-100% MAS
Individual lactate threshold and maximum speed in 30 or 40 meters.																	
Skalska et al. (2019)	GPS 10 Hz in 30m	GPS 10 Hz	Catapult	Minimax X V4.0	Sprint 5.0	36	Male	Youth U18	Meters and percentage of distance covered	Unspecified	8 week training during preseason	0-1 m/s	1-2 m/s	>2 m/s - V/LT	V/LT—80% Vmax	>80% Vmax	
(Jastrzębski & Radziwiński. (2015)	GPS 10 Hz in 40m	GPS 10 Hz	Catapult	minimax XV.4.0	Sprint 5.0	13	Male	Professional	Meters and percentage of distance covered	Unspecified	8 SSG, 4x4 and 5x5.	0-1 m/s	1-2 m/s	2 m/s- V/LT	V/LT - 80% Vmax	>80% Vmax	
Jastrzębski & Radziwiński. (2017)	GPS 10 Hz in 40m	10 Hz	Catapult	minimax 4.0	Sprint5.0	16, 8 and 8.	Female and male	Professional	Meters.	Unspecified	5-7 training sessions and 1 league game. SSG, 4x4.	0-1 m/s	1-2 m/s	2 m/s - V/LT	V/LT—80% Vmax	>80% Vmax	
Final velocity of the 30:15 intermittent fitness test and maximum speed in 40 meters. The ASR was determined as the difference between MSS and MAS.																	

Ref.	Obtaining the threshold	EPTS	Manufacturer	Branch	Software	Sample	Sex	Level	Displacement measurement	Type of displacement	Task	Speed categories					
												Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 6
Tomazoli et al. (2020)	Timing gates at 10m, , front foot 0.5 m behind the first timing gate	GPS 10 Hz	Catapult	Optimeye S5	Sprint 5.0.6	12	Male	Youth U19	Meters	Unspecified	10 matches competitive			<79% MAS	80–99% MAS	100 MAS – 29% ASR	30% ASR – MSS
Trewin et al. (2018)	Unspecified	GPS 10 Hz	Catapult	Minimax S4	Sprint 5.1.	45	Female	Professional	Meters and meters per minute	Unspecified	Player movement data was tracked across 5 years (2012–2016) and 55 International matches				>4,58 m/s Team average of MAS	>5,55 m/s Team average of MSS	
Scott et al. (2020)	Timing gates at 10m for the sprint of 40.	GPS 10 Hz	Catapult	OPTIMEYE S5	Unspecified	136	Female	Professional	Meters	Unspecified	220 competitive matches				>60% MAS	>80% MAS	>30% ASR
Final velocity of the 30:15 intermittent fitness test or YOYO Intermittent Recovery Level 1 test. MAS.																	
Buchheit et al. (2015)	Unspecified	GPS 10 Hz	Catapult	Minimax X Team Sports 4.0	Unspecified	13	Male	Youth U17 and U18	Meters	Unspecified	5 competitive matches				>80% VFy-y		
Tomazoli et al. (2020)	Unspecified	GPS 10 Hz	Catapult	Optimeye S5	Sprint 5.0.6	12	Male	Youth U19	Meters	Unspecified	10 competitive matches			<79% MAS	80–99% MAS	100–139% MAS	≥140% MAS
Madison et al. (2019)	Unspecified	GPS 18 Hz	StatSports	Apex, V.2.1.0.4	StatSports Apex	10	Male	Semi-professional	Meters	Unspecified	4 sessions during 4 week period. SSG 3x3 and 4x4	<25% MSS	25-50% MSS	50-75% MSS	75-100% MSS	100-125% MSS	>125% MSS
Scott & Lovell. (2018)	Unspecified	MEMS 10 Hz	Catapult	Optimeye S5	OpenField V. 1.14.0	22	Female	Professional	Meters	Unspecified	21 days training				>80% VFy-y	>100% VFy-y	
Maximum speed in 10 meters.																	
Goto et al. (2015)	Photoelectric timing gate was placed at 0, 5 and 10 m. The players sprinted from 1 m behind the first timing gate	GPS 1 Hz	GPSport	SPI elite	Team AMS V.1.2	81	Male	Youth U11 to U16	Meters	Unspecified	The matches were part of the regular series of inter-academy matches between Premier League Academies during a season	INDIVIDUAL (Slowest or Fastest)	0-1,1 or 0-1,5 m/s	1,2-2,2 or 1,6- 3 m/s	2,3-3,3 or 3,1-4,5 m/s	3,4-4,4 or 4,6-6 m/s	>4,4 or >6 m/s
												Squad speed zone					
												U11	0-1,1 m/s	1,2-2,1 m/s	2,2-3,2 m/s	3,3-4,2 m/s	>4,2 m/s
												U12	0-1,1 m/s	1,2-2,2 m/s	2,3-3,2 m/s	3,3-4,3 m/s	>4,3 m/s
												U13	0-1,1 m/s	1,2-2,2 m/s	2,3-3,3 m/s	3,4-4,4 m/s	>4,4 m/s
												U14	0-1,2 m/s	1,3-2,3 m/s	2,4-3,5 m/s	3,6-4,6 m/s	>4,6 m/s
												U15 and U16	0-1,2 m/s	1,3-2,4 m/s	2,5-3,7 m/s	3,8-4,9 m/s	>4,9 m/s

Ref.	Obtaining the threshold	EPTS	Manufac- turer	Branch	Software	Sample	Sex	Level	Displacement measurement	Type of displacement	Task	Speed categories						
												Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 6	
Goto et al. (2019)	Photoelectric timing gate was placed at 0, 5 and 10 m. The players sprinted from 1 m behind the first timing gate	GPS 1 Hz	GPSport	SPI elite	Team AMS V.1.2	80	Male	Youth U9 to U16	Meters and percentage of distance covered	Unspecified	The matches were part of the regular series of inter14 academy matches between Premier League Academies during a season	U9	0.0 - 1.0 m/s	1.1-2 m/s	2.1 - 3.1 m/s	3.2 - 4.1 m/s	> 4.1 m/s	
												U10	0.0 - 1.0 m/s	1.1 - 2.1 m/s	2.2 - 3.1 m/s	3.2 - 4.2 m/s	>4.2 m/s	
												U11	0.0 - 1.1 m/S	1.2 - 2.1 m/s	2.2-3.2 m/s	3.3 - 4.2 m/s	>4.2 m/s	
												U12	0.0 - 1.1 m/S	1.2 - 2.2 m/s	2.3 - 3.2 m/s	3.3 - 4.3 m/s	> 4.3 m/s	
												U13	0.0 - 1.1 m/S	1.2 - 2.2 m/S	2.3 - 3.3 m/s	3.4 - 4.4 m/s	> 4.4 m/s	
												U14	0.0 - 1.2 m/S	1.3-2.3 m/s	2.4 - 3.5 m/s	3.6 - 4.6 m/s	>4.6 m/s	
												U15 and U16	0.0 - 1.2 m/S	1.3 - 2.4 m/s	2.5 - 3.7 m/s	3.8-4.9 m/s	>4.9 m/s	
Maximum speed recorded by EPTS during matches.																		
Aquino et al. (2019)	GPS 5 Hz	GPS 5 Hz	QSTARZ	BT-Q1300ST	QSport	51	Male	Youth U11 to U20	Meters	Unspecified	SSG 6x6 or 2 official matches: all matches were performed during the in-competitive season.				> 60% Vmax			
Palucci Vieira et al. (2019a)	Video 30 Hz	Video 30 Hz	Woodman Labs	GOPRO HERO 3 + Black Edition	MathWorks	120	Male	Youth, U13, U15, U17, U20, and Profesional	Meters, meters per minute and the average distance traveled above this speed parameter (>70% MSS)	Unspecified	12 matches					>70% Vmax		
Springham et al. (2020)	GPS 10 Hz and MEMS	GPS 10 Hz and MEMS	Statsports	Viper 2	Statsports Viper	18	Male	Professional	Meters, meters per minute and number of sprints.	Unspecified	48 competitive matches					>80% Vmax		
Conconi test																		
Vigne et al. (2010)	Treadmill.	multi-camera	SICS	Unspecified	Unspecified	25	Male	Professional	Meters	Unspecified	30 home matches	< 5 km/h	5 – 13 km/h	13 – 16 km/h speed below the anaerobic threshold	16- 19 Km/h speed above the anaerobic threshold	>19 km/h		

Vmax = maximum speed; ASR = anaerobic reserve speed; MAS = maximum aerobic speed; MSS = maximum sprint speed; V / LT = lactate threshold velocity; VFy-y = final speed in YOYO Intermittent Recovery Level 1 test; GPS = global positioning system; Hz = hertz; M = meters; Km / h = kilometers per hour; M / s = meters per second; SSG = Small sided games; MSG= moderate sided games; LSG= longer sided games; SG= simulated games.

Tabla 15. Classification of acceleration/deceleration categories.

Ref.	Obtaining the threshold	EPTS	Manufacturer	Branch	Software	Sample	Sex	Level	Displacement measurement	type of displacement	Task	Speed categories					
												Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 6
Repeated sprint exercise (RSE) was 3 sets of 7 × 30 m sprints with 25 s and 3 min recovery between sprints placed at the start and end of the mentioned distance. Maximum acceleration (MA) 30m and sub-maximum (SA) 10m																	
Beato & Drust. (2020)	Infrared timing gates in 10m and 30m	GPS 10 Hz	Statsport	Viper	Unspecified	16	Male	Amateur	Meters and meters per minute	Linear	3 x 7 x 30m					>SA	>MA
40 m sprint test																	
Núñez et al. (2018)	GPS 15 Hz, from a standing start with their front foot 0.5 m behind the start line	GPS 15 Hz	GPSport	SPI-pro W2b	Team AMSR1-2012.9	20	Male	Semi-professional	The number of accelerations, the % of individual maximal accelerations, and mean distance covered	Unspecified	4 friendly matches		>50% MA	0-13 km/h and did not reach 18 km/h	0-13 km/h and reached 18 km/h	13-18 km/h	>18 km/h
Abbott et al. (2018)	GPS 10 Hz	GPS 10 Hz	Catapult	OptimEye S5B V.7.1.8	Sprint 5.1.5	31	Male	Professional U19	Meters	Unspecified	23 training sessions and 4 friendly matches			25-50% MA	50-75% MA	>75% MA	
Abbott et al. (2018)	GPS 10 Hz	GPS 10 Hz	Catapult	OptimEye S5B, V.7.18	Sprint 5.1.5	37	Male	Professional U23	Meters	Unspecified	44 competitive matches				50-75% MA	>75% MA	
Acceleration over 10 m during a 40 m sprint test																	
Trewin et al. (2018)	GPS 10 Hz	GPS 10 Hz	Catapult	Minimax S4	Sprint 5.1	45	Female	Professional	Meters and meters per minute	Unspecified	Player movement data was tracked across 5 years (2012–2016) and 55 International matches					>80% MA	
Acceleration 10 m sprint test																	
Meylan et al. (2017)	GPS 10 Hz	GPS 10 Hz	Catapult	Minimax S4	Sprint 5.1.0.1	20	Female	Professional U20	Meters per minute	Unspecified	34 International friendly matches					>80% MA team average	
Acceleration over 5 m during a 40 m sprint test																	
Serpiello et al. (2018)	GPS 10 Hz	GPS 10 Hz	Catapult	Optimeye S5	Sprint 5.1.7	36	Male	Youth U16	The number, average recovery and average duration of RHAA	Unspecified	41 competitive matches			>70% MA team average		>80% MA team average	

MA= maximum acceleration; SA= sub-maximum acceleration; RSE=Repeated sprint exercise; RHAA= Repeated High Acceleration Ability; GPS = global positioning system; Hz = hertz; M = meters; Km / h = kilometers per hour

3.1.4. Discussion

The main goal of the current work was to systematically review the scientific knowledge contained in peer-reviewed research articles that proposed threshold(s) used in establishing soccer players' movement intensity and analyze if it is a consensus to establish intensity levels in speed and acceleration thresholds. Thirty-nine published papers were considered here addressing velocity and/or acceleration/deceleration bands, respectively using tracking systems and inertial measurement. Based on these, our main collated findings were: (1) for either velocity zones or acceleration demands, the preferred method to define intensity among studies was based on outcomes from the 40 m sprint test, which was used in more than one-third of all literature covered in the searches; (2) the most frequent data collection systems employed to obtain external load measures were GPSs adjusted at a sampling frequency of 10 Hz (~72%); these were also often used in creating the thresholds (~41%); (3) nearly half of evidence is derived from youth male samples and during competitive matches; (4) there was a predominant choice toward depicting movements solely in the meter unit (~60%), and it is evident that the specific type of displacement recorded is unspecified in all excepting one work. Finally, and of most importance to the current aim (5) it was impossible to identify a standardization in speed categories linked with distinct levels of movement given the wide discrepancies found across literature formulating individualized thresholds.

An essential finding of this review study was that 40 m sprint test is seemingly the most frequent procedure in establishing individualized speed thresholds in soccer. Recommendations indicated that a 40 m path might be sufficient for players to reach their peak speed, being faster than in competitive matches and thereby possibly representing an adequate method of depicting players' external load (Kyprianou et al., 2019). Nevertheless, none of the studies considered the 40 m sprint test either when evaluating players velocity (Buchheit et al., 2010; Hunter et al., 2014; Meylan et al., 2017; Núñez-Sánchez et al., 2017; Scantlebury et al., 2020; Scott et al., 2020; Scott & Lovell, 2018; Sparks et al., 2017; Tomazoli et al., 2020; Zurutuza et al., 2017, 2020) or accelerations/decelerations (Abbott, Brickley, & Smeeton, 2018b; Abbott, Brickley, Smeeton, et al., 2018; Núñez et al., 2018), there was a mention regarding its measurement properties (e.g. validity and reliability) for the specific population assessed while only three (Abbott, Brickley, & Smeeton, 2018b; Abbott, Brickley, Smeeton, et al., 2018; Zurutuza et al., 2020) provided references which commented or directly determined a given of these aspects ($r = 0.95\text{--}0.97$; $\text{ICC} = 0.94\text{--}0.99$; $\text{TEE} = 1.67\text{--}1.95\%$) (Mendez-

Villanueva et al., 2012; Roe et al., 2017). The transference of a locomotor testing outcome to match-play running performance is also critical when selecting appropriate testing tools. The so-called construct—or ecological—the validity of the 40 m sprint test lacks consensus [see for a review: (Aquino et al., 2020)] as reports are confirming its associations with match running performance (Al Haddad et al., 2015) whilst no meaningful (Mendez-Villanueva et al., 2012) or only position-dependent results were elsewhere observed (Buchheit, Mendez-Villanueva, et al., 2010). One existing potential solution is the adoption of the maximal sprinting speed (MSS) (Palucci Vieira et al., 2019b) or a clustering technique using players' velocity samples (Park et al., 2019), both obtained in their matches as input parameters to obtain thresholds. Nevertheless, only a few studies included here considered in-game MSS (Aquino et al., 2019; Palucci Vieira et al., 2019a; Springham et al., 2020), and the clustering method was challenged (Vescovi, 2019). Thus, despite gaining popularity to help individualize soccer demands, doubts may persist on the practical value of the 40 m on-field sprinting test.

It is important to note that the individualization of thresholds may arguably benefit soccer practitioners. Examples include an a priori more accurate representation of player's demands experience in practice or match-play when using individualized thresholds. Enhanced ability to manage individuals' workload will theoretically allow for the design of more effective recovery schedules and periodization training (Atan et al., 2016; Harley et al., 2010; Hunter et al., 2014; Palucci Vieira et al., 2019b). Also, the use of customized thresholds helps reduce high-speed running variability within and between matches and from an individual or position-specific point of view (Carling et al., 2016). On the other hand, some studies provided evidence that it can represent no additional value to understanding soccer external loads. The clearest example falls in the case of determining dose-response to daily training routines. MSS in 40 m test routine showed poor correlations with heart rate, ratings of perceived exertion (Scott & Lovell, 2018) and wellness (Scott et al., 2020).

Furthermore, MSS is not necessarily higher in 40 m testing than match-play outputs (Massard et al., 2018). Most important, training-induced adaptations in running performance encountered during actual match-play are not always matched with those changes verified in 40 m sprint performance (Buchheit et al., 2013), whilst the frequency to which fitness components need re-assessment, aiming at adjust thresholds accounting for those time-related changes, seemingly also unknown (Drust, 2018). Such results collectively reinforce the lack of full confidence and consensus

in applying a 40 m linear sprint test to obtain “anchors” of speed/acceleration thresholds. Soccer demands generally involve energetic costs in changing direction, unorthodox displacements and physical impacts (Scott et al., 2020), which might be difficult to capture in standard outcome metrics derived from traditional linear sprint tests.

In an attempt to overcome possible limitations of a single bout maximal linear sprint as mentioned above, also considering the lowest weight it may have to a dataset of soccer external load measures collected in official matches (Casamichana et al., 2019) likely given the one-off nature of MSS in soccer (Carling et al., 2019), some authors employed test protocols more prolonged in nature. These included Yo-Yo Intermittent Recovery Test level 1, Vam-Eval maximal incremental running test, 30:15 Intermittent Fitness test (30–15_{IFT}) and Conconi test performed on a treadmill. Despite having large-to-very large associations with match-play running performance either relating to the total distance covered or high-intensity running (Aquino et al., 2020), graded exhaustive treadmill tests represent severe limitations to most clubs given time requirements, costs and player's motivation, implying a need to consider other solutions with more prominent practical value such as field-based assessments (Buchheit, Simpson, & Lacome, 2020). Instead, a trend of a recent increase in the use of anaerobic speed reserve (ASR) as a threshold was noted here for approximately one-fourth of all studies included, of which most were published over the last three years (Abbott, Brickley, & Smeeton, 2018a, 2018c; Rago et al., 2019, 2020; Scott et al., 2020; Tomazoli et al., 2020; Trewin et al., 2018). The ASR is a compound of two markers, i.e. computed as the difference between player MSS and maximal aerobic speed, thus combining in a single index the individual's fitness characteristics observed on a separate all-out sprint effort and those from $vV \dot{V}O_{2max}$. Such metrics seem to benefit from creating thresholds since players showing similar $vV \dot{V}O_{2max}$ (not uncommon across outfield playing positions; Slimani et al., (2019)) may not have a matched MSS performance (Al Haddad et al., 2015; Djaoui et al., 2017). In this conditions, ability to cope with a given load, in particular at high-intensity domain, would depends on the proportion of ASR reached (Buchheit & Laursen, 2013) rather than looking solely for a percentage of the former fitness indicator. Again, one of the issues which arguably preclude unrestricted recommendation of ASR to date is none empirical evidence supporting its construct validity (e.g. 30–15_{IFT} performance versus match-play running outputs; see also Čović et al., (2016)).

Regardless of whether there is currently an unsolved debate, since studies recommend using

(Carling et al., 2016; Kavanagh & Carling, 2019; Kyprianou et al., 2019), maybe (Drust, 2018; Hunter et al., 2014; Weston, 2013) or others suggest avoid (Aquino et al., 2020; Palucci Vieira et al., 2019b; D. Scott & Lovell, 2018) fitness testing when defining speed thresholds, a lack of standardization was observed here in both, determinations of individualized speed/acceleration categories representing distinct workload demands and the parameters used to extract a given anchor. To be explicit and using the 40 m sprint test as an example, timing gates at the start, 10 and 40 m (Meylan et al., 2017); 30 and 40 m (Sparks et al., 2017); 10-m intervals (Buchheit, Mendez-villanueva, et al., 2010; Hunter et al., 2014; Scantlebury et al., 2020; D. Scott et al., 2020; D. Scott & Lovell, 2018; Tomazoli et al., 2020a); or MSS attained independent of location (Núñez et al., 2018; Zurutuza et al., 2017, 2020) were among methods used. Furthermore, following these procedures, the levels for “higher” intensity recorded were defined considering 50–60% (Núñez et al., 2018), 80–100% (Hunter et al., 2014; Tomazoli et al., 2020a), >61% (Buchheit, Mendez-villanueva, et al., 2010; Scantlebury et al., 2020; Sparks et al., 2017), >65% (D. Scott & Lovell, 2018), >75% (Meylan et al., 2017), >80% (D. Scott et al., 2020; Zurutuza et al., 2017, 2020) or >90% (Núñez et al., 2018) of MSS. It makes it difficult to directly compare results across literature and provide systematic concluding remarks on the most appropriate one. To assist move beyond this question, intervention designs assessing the practical effect of individualized thresholds in various aspects (e.g. fitness, injury and match performance) are recommended as opposed to common application/comparison of methods (Kavanagh & Carling, 2019).

Finally, particular attention should also be paid to the technology employed in obtaining performance indices often used in originating the movement intensity thresholds. Ten-hertz GPS were identified as the most common devices used to determine velocity/acceleration thresholds during testing routines and collect external task loads. It is recognized that these generally provide valid measures to assess distance and velocity in linear movements and during simulations of running characteristics about team sports, while no additional benefits of a nearby higher acquisition frequency can exist (Crang et al., 2021; Scott et al., 2016). However, during acceleration occurrences above 4 m/s² limits, accuracy using 10 Hz GPS is not always ensured (Akenhead et al., 2014). One can argue that there is not a proper ‘gold standard’ available in computing external loads such as running performance (Buchheit, Mendez-villanueva, et al., 2010; Carling et al., 2008; Lovell et al., 2013) while others recognize high-speed three-dimensional motion capture systems (Crang et al., 2021). Context, logistics and the need for a qualified team with the how-to for data treatment of image

sequences are among potential constraints on using the latter. Examples include the costs involved, set-up configuration and time-consuming nature which collectively make difficult application of video-based tracking systems in practice difficult. It is also observed in the present analysis because only one study using the latter method was found (see Table 2). Regardless of the EPTS or IMU used, an important aspect to keep in mind is that the measurement error must be evaluated by taking into account the specific location in which they were collected [see a review: Palucci Vieira et al. (2019b)], and only two studies included in our analysis did so (Aquino et al., 2019; Palucci Vieira et al., 2019); most cited data from previous research or reported only horizontal precision dilution calculated by the software's proprietary. In summary, interpretation of the current evidence on velocity thresholds using 10 Hz GPS may be reliable, not on acceleration thresholds, because more explosive movements may require higher hertz devices. Even so, more is needed with quality research control protocols that allow researchers and sports professionals to obtain valid and reliable information.

In brief, once the analysis of all the articles that contain a justification of the speed threshold has been carried out and given the heterogeneity shown, it can be said that it is no consensus in the literature to know which test is the most indicated or which percentages are the most suitable for setting intensity within speed thresholds. However, those accelerations above 80% of each player's maximum acceleration are a standard indicator in the literature.

3.1.5. Limitations

A number of potential limitations should be recognized to the methods used in the present review as well as the derived implications: (1) inclusion of studies only in English, which may have resulted in a loss of evidence on the topic when published in other language; (2) consideration of all works regardless of whether it varies concerning the quality of evidence; (3) lack of a quantitative synthesis of extracted information, which is partly attributed to a substantial heterogeneity of methods used across included articles; (4) only 8 studies (Atan et al., 2016; Buchheit, Mendez-villanueva, et al., 2010; Goto et al., 2015, 2019; Harley et al., 2010; Mendez-Villanueva et al., 2012; Palucci Vieira et al., 2019a; Saward et al., 2016; D. Scott et al., 2020) were conducted with a minimum of 80 players as per previous recommendations to ensure sufficient statistical power (Gregson et al., 2010); (5) evidence may apply to a greater extent to youth male players rather than senior male and women's soccer and finally (6) despite the probed importance of curvilinear movements (Granero-Gil et al.,

2020), these were not explicitly determined in any of the reviewed studies.

3.1.6. Conclusion

In short, a 40 m sprint test performed on-field was identified as the preferred method to create individualized speed or acceleration thresholds in depicting players' external load in soccer. While the benefits of drawing thresholds from a single fitness indicator such as maximal sprinting performance are accompanied by several limitations (e.g. may lack superior sensitivity to profile dose-response to training-induced changes), a rapid increase was identified in recent years, suggesting the use of compound measures such as anaerobic speed reserve. However, in either case, the construct validity of fitness data to predict match-play running performance is not current. Also, the lack of standardization on test procedures and threshold zones established and the low sampling frequency in studies computing acceleration and deceleration demands defy practical applications. Finally, extending previous research using match data to obtain thresholds is still required to overcome potential issues from testing outside the game context. Otherwise, intervention works are needed to confirm the value of individualizations based on fitness status.

3.1.7. References

- Abbott, W., Brickley, G., & Smeeton, N. J. (2018a). Physical demands of playing position within English Premier League academy soccer. *Journal of Human Sport and Exercise*, 13(2). <https://doi.org/10.14198/jhse.2018.132.04>
- Abbott, W., Brickley, G., & Smeeton, N. J. (2018b). An individual approach to monitoring locomotive training load in English Premier League academy soccer players. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 13(3), 421-428. <https://doi.org/10.1177/1747954118771181>
- Abbott, W., Brickley, G., & Smeeton, N. J. (2018c). Positional Differences in GPS Outputs and Perceived Exertion During Soccer Training Games and Competition: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(11), 3222-3231. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002387>

- Abbott, W., Brickley, G., Smeeton, N. J., & Mills, S. (2018). Individualizing Acceleration in English Premier League Academy Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(12), 3503-3510. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000002875>
- 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>
- Akenhead, R., French, D., Thompson, K. G., & Hayes, P. R. (2014). The acceleration dependent validity and reliability of 10Hz GPS. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(5), 562-566. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.08.005>
- Al Haddad, H., Simpson, B. M., Buchheit, M., Di Salvo, V., & Mendez-Villanueva, A. (2015). Peak match speed and maximal sprinting speed in young soccer players: Effect of age and playing position. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(7), 888-896. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0539>
- Aquino, R., Carling, C., Maia, J., Vieira, L. H. P., Wilson, R. S., Smith, N., Almeida, R., Gonçalves, L. G. C., Kalva-Filho, C. A., Garganta, J., & Puggina, E. F. (2020). Relationships between running demands in soccer match-play, anthropometric, and physical fitness characteristics: A systematic review. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 20(3), 534-555. <https://doi.org/10.1080/24748668.2020.1746555>
- Aquino, R., Melli-Neto, B., Ferrari, J. V. S., Bedo, B. L. S., Vieira, L. H. P., Santiago, P. R. P., Gonçalves, L. G. C., Oliveira, L. P., & Puggina, E. F. (2019). Validity and reliability of a 6-a-side small-sided game as an indicator of match-related physical performance in elite youth Brazilian soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 37(23), 2639-2644. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1608895>

- Atan, S. A., Foskett, A., & Ali, A. (2016). Motion Analysis of Match Play in New Zealand U13 to U15 Age-Group Soccer Players: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(9), 2416-2423. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001336>
- Beato, M., & Drust, B. (2020). Acceleration intensity is an important contributor to the external and internal training load demands of repeated sprint exercises in soccer players. *Research in Sports Medicine*, 1-10. <https://doi.org/10.1080/15438627.2020.1743993>
- Beato, M., Drust, B., & Iacono, A. D. (2020). Implementing High-speed Running and Sprinting Training in Professional Soccer. *International Journal of Sports Medicine*, a-1302-7968. <https://doi.org/10.1055/a-1302-7968>
- Buchheit, M. (2019). Managing high-speed running load in professional soccer players: The benefit of high-intensity interval training supplementation. *Sport Perform Sci Rep*, 53, 1-5.
- Buchheit, M., Hammond, K., Bourdon, P. C., Simpson, B. M., Garvican-Lewis, L. A., Schmidt, W. F., & Aughey, R. J. (2015). Relative match intensities at high altitude in highly-trained young soccer players (ISA3600). *Journal of Sports Science & Medicine*, 14(1), 98. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4306790/>
- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(5), 313-338. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x>
- 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., Mendez-Villanueva, A., Simpson, B. M., & Bourdon, P. C. (2010). Match running performance and fitness in youth soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 31(11), 818-825. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1262838>

- Buchheit, M., Simpson, B. M., Hader, K., & Lacome, M. (2020). Occurrences of near-to-maximal speed-running bouts in elite soccer: Insights for training prescription and injury mitigation. *Science and Medicine in Football*, 1-6. <https://doi.org/10.1080/24733938.2020.1802058>
- Buchheit, M., Simpson, B. M., & Lacome, M. (2020). Monitoring Cardiorespiratory Fitness in Professional Soccer Players: Is It Worth the Prick? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1-5. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0911>
- Buchheit, M., Simpson, B. M., & Mendez-Villanueva, A. (2013). Repeated high-speed activities during youth soccer games in relation to changes in maximal sprinting and aerobic speeds. *International Journal of Sports Medicine*, 34(1), 40-48. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1316363>
- Carling, C., 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 (Auckland, N.Z.)*, 38(10), 839-862. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838100-00004>
- Carling, C., Bradley, P., McCall, A., & Dupont, G. (2016). Match-to-match variability in high-speed running activity in a professional soccer team. *Journal of Sports Sciences*, 34(24), 2215-2223. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1176228>
- Carling, C., McCall, A., Harper, D., & Bradley, P. S. (2019). Comment on: «The Use of Microtechnology to Quantify the Peak Match Demands of the Football Codes: A Systematic Review». *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(2), 343-345. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-1032-z>
- Casamichana, D., Castellano, J., Gómez Díaz, A., & Martín-García, A. (2019). Looking for Complementary Intensity Variables in Different Training Games in Football. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003025>

- Castagna, C., Varley, M., Póvoas, S. C. A., & D'Ottavio, S. (2017). Evaluation of the Match External Load in Soccer: Methods Comparison. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(4), 490-495. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0160>
- Čović, N., Jelešković, E., Alić, H., Rađo, I., Kafedžić, E., Sporiš, G., McMaster, D. T., & Milanović, Z. (2016). Reliability, Validity and Usefulness of 30–15 Intermittent Fitness Test in Female Soccer Players. *Frontiers in Physiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00510>
- Crang, Z. L., Duthie, G., Cole, M. H., Weakley, J., Hewitt, A., & Johnston, R. D. (2021). The Validity and Reliability of Wearable Microtechnology for Intermittent Team Sports: A Systematic Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 51(3), 549-565. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01399-1>
- Djaoui, L., Chamari, K., Owen, A. L., & Dellal, A. (2017). Maximal Sprinting Speed of Elite Soccer Players During Training and Matches. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(6), 1509-1517. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001642>
- Dolci, F., Hart, N. H., Kilding, A. E., Chivers, P., Piggott, B., & Spiteri, T. (2020). Physical and Energetic Demand of Soccer: A Brief Review. *Strength and Conditioning Journal*, 00(00), 8.
- Doncaster, G., Marwood, S., Iga, J., & Unnithan, V. (2016). Influence of oxygen uptake kinetics on physical performance in youth soccer. *European Journal of Applied Physiology*, 116(9), 1781-1794. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3431-x>
- Doncaster, G., & Unnithan, V. (2019). Between-Game Variation of Physical Soccer Performance Measures in Highly Trained Youth Soccer Players: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(7), 1912-1920. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002132>
- Drust, B. (2018). An individual approach to monitoring locomotive training load in English Premier League academy soccer players. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 13(3), 429-430. <https://doi.org/10.1177/1747954118771182>

- Goto, H., Morris, J. G., & Nevill, M. E. (2015). Motion analysis of U11 to U16 elite English Premier League Academy players. *Journal of Sports Sciences*, 33(12), 1248-1258. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.999700>
- Goto, H., Morris, J. G., & Nevill, M. E. (2019). Influence of Biological Maturity on the Match Performance of 8- to 16-Year-Old, Elite, Male, Youth Soccer Players: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(11), 3078-3084. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000002510>
- 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>
- Gregson, W., Drust, B., Atkinson, G., & Salvo, V. D. (2010). Match-to-match variability of high-speed activities in premier league soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 31(4), 237-242. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1247546>
- Hader, K., Rumpf, M. C., Hertzog, M., Kilduff, L. P., Girard, O., & Silva, J. R. (2019). Monitoring the Athlete Match Response: Can External Load Variables Predict Post-match Acute and Residual Fatigue in Soccer? A Systematic Review with Meta-analysis. *Sports Medicine - Open*, 5(1), 48. <https://doi.org/10.1186/s40798-019-0219-7>
- 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>
- Hunter, F., Bray, J., Towlson, C., Smith, M., Barrett, S., Madden, J., Abt, G., & Lovell, R. (2014). Individualization of Time-Motion Analysis: A Method Comparison and Case Report Series.

International Journal of Sports Medicine, 36(01), 41-48. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1384547>

Jastrzębski, Z., & Radzimiński, Ł. (2015). Individual vs General Time-Motion Analysis and Physiological Response in 4 vs 4 and 5 vs 5 Small-Sided Soccer Games. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 15(1), 397-410. <https://doi.org/10.1080/24748668.2015.11868801>

Jastrzębski, Z., & Radzimiński, Ł. (2017). Default and individual comparison of physiological responses and time-motion analysis in male and female soccer players during small-sided games. *Journal of Human Sport and Exercise*, 12(4). <https://doi.org/10.14198/jhse.2017.124.04>

Kavanagh, R., & Carling, C. (2019). Analysis of external workload in soccer training and competition: Generic versus individually determined speed thresholds. *Science and Medicine in Football*, 3(1), 83-84. <https://doi.org/10.1080/24733938.2018.1562279>

Kyprianou, E., Di Salvo, V., Lolli, L., Al Haddad, H., Villanueva, A. M., Gregson, W., & Weston, M. (2019). To Measure Peak Velocity in Soccer, Let the Players Sprint. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003406>

Lovell, R., Barrett, S., Portas, M., & Weston, M. (2013). Re-examination of the post half-time reduction in soccer work-rate. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(3), 250-254. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.06.004>

Madison, G., Patterson, S. D., Read, P., Howe, L., & Waldron, M. (2019). Effects of small-sided game variation on changes in hamstring strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(3), 839-845.

Malone, S., Owen, A., Mendes, B., Hughes, B., Collins, K., & Gabbett, T. J. (2018). High-speed running and sprinting as an injury risk factor in soccer: Can well-developed physical qualities

- reduce the risk? *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(3), 257-262.
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.05.016>
- Massard, T., Eggers, T., & Lovell, R. (2018). Peak speed determination in football: Is sprint testing necessary? *Science and Medicine in Football*, 2(2), 123-126.
<https://doi.org/10.1080/24733938.2017.1398409>
- 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>
- Meylan, C., Trewin, J., & McKean, K. (2017). Quantifying Explosive Actions in International Women's Soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(3), 310-315. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0520>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Medicine*, 6(7), 6.
- Nakamura, F. Y., Pereira, L. A., Loturco, I., Rosseti, M., Moura, F. A., & Bradley, P. S. (2017). Repeated-Sprint Sequences During Female Soccer Matches Using Fixed and Individual Speed Thresholds: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(7), 1802-1810.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001659>
- Núñez, F. J., Toscano-Bendala, F. J., Suarez-Arrones, L., Martínez-Cabrera, F. I., & De Hoyo, M. (2018). Individualized thresholds to analyze acceleration demands in soccer players using GPS (Umbrales individualizados para analizar las demandas en la aceleración en futbolistas usando GPS). *Retos*, 35, 75-79. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i35.60402>
- Sánchez, F. J. N., Bendala, F. J. T., Vázquez, M. Á. C., & Moreno-Arrones, L. J. S. (2017). Individualized speed threshold to analyze the game running demands in soccer players using

- GPS technology. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, (32), 130-133. <https://doi.org/10.4797/retos.v0i32.91>
- 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. (2019a). 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>
- 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. (2019b). 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>
- Palucci Vieira, L. H., Carling, C., Barbieri, F. A., Aquino, R., & Santiago, P. R. P. (2019b). Match Running Performance in Young Soccer Players: A Systematic Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(2), 289-318. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-01048-8>
- Park, L. A. F., Scott, D., & Lovell, R. (2019). Velocity zone classification in elite women's football: Where do we draw the lines? *Science and Medicine in Football*, 3(1), 21-28. <https://doi.org/10.1080/24733938.2018.1517947>
- Rago, V., Brito, J., Figueiredo, P., Krstrup, P., & Rebelo, A. (2019). Relationship between External Load and Perceptual Responses to Training in Professional Football: Effects of Quantification Method. *Sports*, 7(3), 68. <https://doi.org/10.3390/sports7030068>
- Rago, V., Brito, J., Figueiredo, P., Krstrup, P., & Rebelo, A. (2020). Application of Individualized Speed Zones to Quantify External Training Load in Professional Soccer. *Journal of Human Kinetics*, 72, 11.

- Reinhardt, L., Schwesig, R., Lauenroth, A., Schulze, S., & Kurz, E. (2019). Enhanced sprint performance analysis in soccer: New insights from a GPS-based tracking system. *PLOS ONE*, 14(5), e0217782. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217782>
- Roe, G., Darrall-Jones, J., Black, C., Shaw, W., Till, K., & Jones, B. (2017). Validity of 10-HZ GPS and Timing Gates for Assessing Maximum Velocity in Professional Rugby Union Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(6), 836-839. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0256>
- Saward, C., Morris, J. G., Nevill, M. E., Nevill, A. M., & Sunderland, C. (2016). Longitudinal development of match-running performance in elite male youth soccer players: Match-running performance in youth soccer. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(8), 933-942. <https://doi.org/10.1111/sms.12534>
- Scantlebury, S., Till, K., Beggs, C., Dalton-Barron, N., Weaving, D., Sawczuk, T., & Jones, B. (2020). Achieving a desired training intensity through the prescription of external training load variables in youth sport: More pieces to the puzzle required. *Journal of Sports Sciences*, 38(10), 1124-1131. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1743047>
- Scott, D., & Lovell, R. (2018). Individualization of speed thresholds does not enhance the dose-response determination in football training. *Journal of Sports Sciences*, 36(13), 1523-1532. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1398894>
- Scott, D., Norris, D., & Lovell, R. (2020). Dose–Response Relationship Between External Load and Wellness in Elite Women’s Soccer Matches: Do Customized Velocity Thresholds Add Value? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(9), 1245-1251. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0660>

- Scott, M. T. U., 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>
- Serpiello, F., Duthie, G., Moran, C., Kovacevic, D., Selimi, E., & Varley, M. (2018). The Occurrence of Repeated High Acceleration Ability (RHAA) in Elite Youth Football. *International Journal of Sports Medicine*, 39(07), 502-507. <https://doi.org/10.1055/a-0608-4738>
- Skalska, M., Nikolaidis, P. T., Knechtle, B., Rosemann, T. J., Radziński, Ł., Jastrzębska, J., Kaczmarczyk, M., Myśliwiec, A., Dragos, P., López-Sánchez, G. F., & Jastrzębski, Z. (2019). Vitamin D Supplementation and Physical Activity of Young Soccer Players during High-Intensity Training. *Nutrients*, 11(2), 349. <https://doi.org/10.3390/nu11020349>
- Slimani, M., Znazen, H., Miarka, B., & Bragazzi, N. L. (2019). Maximum Oxygen Uptake of Male Soccer Players According to their Competitive Level, Playing Position and Age Group: Implication from a Network Meta-Analysis. *Journal of Human Kinetics*, 66, 233-245. <https://doi.org/10.2478/hukin-2018-0060>
- Smith, V., Devane, D., Begley, C. M., & Clarke, M. (2011). Methodology in conducting a systematic review of systematic reviews of healthcare interventions. *BMC Medical Research Methodology*, 11(1), 15. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-11-15>
- Sparks, M., Coetzee, B., & Gabbett, T. J. (2017). Internal and external match loads of university-level soccer players: A comparison between methods. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(4), 1072-1077. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001560
- Springham, M., Williams, S., Waldron, M., Strudwick, A. J., Mclellan, C., & Newton, R. U. (2020). Prior workload has moderate effects on high-intensity match performance in elite-level professional football players when controlling for situational and contextual variables.

Journal of Sports Sciences, 38(20), 2279-2290.

<https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1778355>

Tan, D., Dawson, B., & Peeling, P. (2012). Hemolytic Effects of a Football-Specific Training Session in Elite Female Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(3), 271-276. <https://doi.org/10.1123/ijsp.7.3.271>

Tomazoli, G., Marques, J. B., Farooq, A., & Silva, J. R. (2020a). Estimating Postmatch Fatigue in Soccer: The Effect of Individualization of Speed Thresholds on Perceived Recovery. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(9), 1216-1222. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0399>

Tomazoli, G., Marques, J. B., Farooq, A., & Silva, J. R. (2020b). Estimating Postmatch Fatigue in Soccer: The Effect of Individualization of Speed Thresholds on Perceived Recovery. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(9), 1216-1222. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0399>

Trewin, J., Meylan, C., Varley, M. C., & Cronin, J. (2018). The match-to-match variation of match-running in elite female soccer. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(2), 196-201. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.05.009>

Vescovi, J. D. (2019). Women's soccer velocity thresholds: Statistical techniques or physiological metrics – context is critical. *Science and Medicine in Football*, 3(1), 81-82. <https://doi.org/10.1080/24733938.2018.1562278>

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>

- Weston, M. (2013). Difficulties in Determining the Dose-Response Nature of Competitive Soccer Matches. *Journal of Athletic Enhancement*, 02(01). <https://doi.org/10.4172/2324-9080.1000e107>
- Whitehead, S., Till, K., Weaving, D., & Jones, B. (2018). The Use of Microtechnology to Quantify the Peak Match Demands of the Football Codes: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 48(11), 2549-2575. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0965-6>
- Zurutuza, U., Castellano, J., Echeazarra, I., & Casamichana, D. (2017). Absolute and Relative Training Load and Its Relation to Fatigue in Football. *Frontiers in Psychology*, 8, 878. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00878>
- Zurutuza, U., Castellano, J., Echeazarra, I., Guridi, I., & Casamichana, D. (2020). Selecting Training-Load Measures to Explain Variability in Football Training Games. *Frontiers in Psychology*, 10, 2897. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02897>

3.2. ¿Existe una relación entre la valoración objetiva de la velocidad y la percepción del cuerpo técnico?

3.2.1. Introducción

El fútbol es un deporte intermitente que combina esfuerzos de corta duración a alta intensidad con períodos más prolongados a baja intensidad (Carling et al., 2010; Palucci Vieira et al., 2018). Durante la competición, el futbolista completa unos 10 km, recorriendo, aproximadamente, hasta 1 km a alta velocidad o sprint, a través de esfuerzos intermitentes (Rampinini et al., 2007), que generalmente coinciden con escenarios de máxima exigencia durante los momentos claves del partido (Rico-González et al., 2022). De modo que, la alta velocidad en carrera o sprint es una cualidad física determinante para alcanzar éxito en competición, ya que estas acciones pueden contribuir en conseguir o impedir un gol, desmarcarse de un rival o llegar a un espacio determinante antes que el adversario (Faude et al., 2012; Haugen et al., 2013; Sweeting et al., 2017). Pero la preparación de un jugador para afrontar estos esfuerzos compromete al organismo (e.j. tejidos musculares), requiriendo de una preparación óptima para evitar situaciones que comprometan la salud de los futbolistas con lesiones musculares (Carling et al., 2010; Malone et al., 2017).

Por todo ello, los jugadores profesionales cuentan con exhaustivo control de carga externa e interna durante entrenamiento y competición por medio de dispositivos de seguimiento electrónico (EPTS) (Beato & Drust, 2020; Borghi et al., 2020). Los EPTS dotan a los cuerpos técnicos de la información necesaria para el control del entrenamiento, entre las que se encuentran las variables de distancia a alta velocidad o sprint y la velocidad máxima del futbolista (Aquino et al., 2019; Enes et al., 2020; Rago et al., 2020). Sin embargo, los altos precios de la tecnología no permiten su disposición en clubes no profesionales, e incluso tampoco en semi-profesionales (Ingebrigtsen et al., 2015; Miñano-Espin et al., 2017). De tal forma que los equipos no profesionales realizan un control de carga de manera subjetivo mediante escalas de bienestar y esfuerzo percibido, a pesar de que la tasa de error es mayor y las opiniones pueden estar sesgadas (Martínez-Cabrera & Martín-Barrero, 2021; Vasquez Bonilla et al., 2023; Watson et al., 2017).

A día de hoy en los clubes no profesionales, un criterio muy habitual para tomar decisiones acerca de la alineación o las sustituciones, es el conocimiento del perfil de velocidad del futbolista, tomado en base a la percepción subjetiva del cuerpo técnico (Toscano Bendala et al., 2014). Sin

embargo, ningún estudio ha comprobado si existe una relación real entre la percepción subjetiva del cuerpo técnico y la valoración real a través de métodos objetivos como las EPTS. Por tanto, el objetivo de este estudio es comprobar las relaciones entre la percepción subjetiva de la velocidad entre los diferentes integrantes del cuerpo técnico y la relación entre la percepción subjetiva de la velocidad por parte del cuerpo técnico frente a los métodos objetivos proporcionados mediante los sistemas de navegación global por satélite (GNSS).

3.2.2. Método

3.2.2.1. Participantes

Futbolistas: Diecinueve futbolistas juveniles (edad 19.85 ± 0.83 , peso $70.58 \text{ kg} \pm 6.77$ y altura $180.11 \text{ cm} \pm 5.94$) participaron en el estudio. El equipo estaba formado por 4 laterales, 4 centrales, 3 mediocentros, 4 delanteros y 4 extremos. La altura de los deportistas fue obtenida mediante un tallímetro de pared (SECA, Hamburgo, Alemania), y el peso mediante un monitor de composición corporal (TANITA, Tokio, Japón).

Todos los deportistas contaban con al menos 10 años de práctica en fútbol. Antes de comenzar el estudio, el club, federación, deportistas y familiares fueron informados de los propósitos del mismo, obteniendo el consentimiento informado por escrito para participar en la investigación. Se realizó el acuerdo con el Comité de Bioética de la Universidad de Murcia mediante la Declaración de Helsinki (2013) siendo aprobado y registrado mediante el número (2061/2018).

Cuerpo técnico: La valoración subjetiva de la velocidad fue proporcionada por el entrenador (39 años de edad, 15 años como futbolista profesional y 2 como entrenador), el segundo entrenador (24 años, 8 años en fútbol base y 1 como segundo entrenador), el analista (28 años, 10 años en fútbol base y 2 años como analista), el fisioterapeuta (22 años, 4 años en fútbol base y un año como fisioterapeuta) y el preparador físico (24 años, 10 años en fútbol base y 3 años como preparador físico).

TABLA 16. DATOS ANTROPOMÉTRICOS DE LOS PARTICIPANTES EN ESTA INVESTIGACIÓN

Posición	Peso medio (kg)	Altura media (cm)	Edad media (años)
Lateral	66,96 ± 2,45	178,16 ± 5,67	19,87 ± 0,22
Central	76,74 ± 1,09	185,47 ± 3,50	20,18 ± 0,56
Mediocentro	70,36 ± 6,55	178,27 ± 4,78	20,16 ± 0,77
Delantero	71,88 ± 9,86	181,62 ± 6,80	19,80 ± 0,33
Extremo	67,37 ± 4,15	176,72 ± 3,44	19,32 ± 1,40

3.2.2.2. Instrumento de medida

Los datos de partidos oficiales y entrenamientos fueron registrados mediante dispositivos inerciales WIMU PRO™ (RealTack Systems, Almería, España) formado por cuatro acelerómetros de 100 Hz y un sistema de posicionamiento GNSS de 10 Hz. Los dispositivos previamente han sido utilizados y validados (Bastida Castillo et al., 2018; Gómez-Carmona et al., 2019; Pons et al., 2019).

El dispositivo inercial se introduce en un chaleco específico proporcionado por la empresa, el cuál iba situado en la zona escapular de la espalda. El dispositivo presenta un tamaño de 81 x 45 x 16 milímetros, un peso 70 gramos y una autonomía de 4 horas de grabación. El dispositivo era encendido y puesto al jugador 15 minutos antes de la hora de inicio de la sesión de entrenamiento o partido. Los datos recopilados durante el estudio fueron analizados mediante el software S PRO™ (RealTack Systems, Almería, España).



ILUSTRACIÓN 4. DISPOSITIVO WIMO PRO™, CHALECO ESPECÍFICO CON EL DISPOSITIVO INTRODUCIDO Y SOFTWARE S PRO™

3.2.2.3. *Recogida de datos*

La metodología del estudio se redactó mediante el protocolo de (Rico-González et al., 2020) para garantizar la descripción exhaustiva de GNSS. Para medir la distancia se obtuvieron 16 puntos de 18 y para medir la velocidad 17 de 19 puntos. Los datos fueron recogidos en la Región de Murcia con cielo despejado y sin edificación cercana al recinto deportivo.

3.2.2.4. *Procedimiento*

El estudio se llevó a cabo durante 3 meses competitivos, recopilando 36 sesiones de entrenamiento (3 entrenamientos por semana) y 13 partidos oficiales de Liga Nacional Juvenil Grupo X de la Real Federación Española de Fútbol, durante la temporada 2020-2021. Las sesiones de entrenamiento se realizaban lunes, miércoles y viernes, con una duración de 90 minutos. Los partidos se jugaban los domingos a las 12:00 horas. Las dimensiones del terreno de juego de la competición oscilaban entre 55-70 metros de ancho por 90-110 metros de largo. La estructura de los entrenamientos consistía en un calentamiento general de 10 minutos, un calentamiento específico de 10 minutos, 3 tareas de parte principales con diferentes contenidos técnico-tácticos y físicos de 65 minutos, y una vuelta a la calma de 5 minutos.

3.2.2.5. *Procedimiento para conocer la velocidad objetiva*

Para determinar la velocidad máxima del futbolista se realizaron 3 test de campo. Estos fueron realizados los miércoles de las primeras 3 semanas. El inicio de todos los test fue desde parado. La carrera fue iniciada tras una señal sonora del examinador:

1. El primer test consistió en realizar 3 series de 20 metros a máxima velocidad con 90 segundos de descanso.
2. El segundo test consistió en realizar 3 series de 40 metros a máxima velocidad con 90 segundos de descanso.
3. El tercer test consistió en realizar 4 carreras circulares al semi-círculo del área penalti en ambas direcciones con 90 segundos de descanso.

Por otro lado, se registraron las 3 velocidades máximas de cada jugador durante los 13 partidos oficiales, y la distancia que recorrieron para alcanzar dichas velocidades. Las 3 velocidades máximas en competición fueron conseguidas partiendo desde diferentes velocidades o desde parado. Se analizó la distancia desde que se produjo un aumento de velocidad hasta alcanzar el máximo de velocidad o descenso de velocidad. Con dichas distancias promedio obtenidas en base a las 3 velocidades máximas del jugador en la competición, se realizó un test individualizado la última semana de la investigación.

3.2.2.6. Procedimiento para conocer la velocidad subjetiva del cuerpo técnico

Para determinar la velocidad subjetiva se realizó una escala del 1 al 10 donde cada miembro del cuerpo técnico valoraba la velocidad del jugador, siendo 10 la puntuación más alta y 1 la puntuación más baja.

Previamente para comprobar la fiabilidad de los encuestados, se les realizó una prueba tipo, en el que valoraban de la misma manera a 6 futbolistas profesionales mediante análisis de vídeo. Tras pasar un período de 4 semanas, los miembros del cuerpo técnico fueron examinados de nuevo, valorando el vídeo de los mismos 6 futbolistas profesionales para comprobar que no había diferencias entre la valoración 1 y la valoración 2 tras transcurrir las 4 semanas.

3.2.2.7. Análisis estadístico

Los análisis estadísticos fueron realizados mediante SPSS v. 28.0 y JAMOV v. 2.3.13. Para comprobar las relaciones entre la percepción subjetiva de la velocidad entre los diferentes integrantes del cuerpo técnico se realizó la prueba Shapiro-Wilk, puesto que el tamaño de la muestra (<50 casos) y todas las variables no siguen una distribución normal (<0,05). Las variables numéricas se resumieron mediante estadísticos descriptivos (medias, desviaciones típicas, mínimo y máximo) con la prueba no paramétrica Wilcoxon. El nivel de significación se definió en $p < 0.05$ para todos los análisis. Puesto que el tamaño de la muestra es bajo, se analizó el tamaño del efecto con la diferencia media tipificada (Cohen, 1988) (Bajo = 0,20, medio = 0,50 y alto = 0,80).

Para analizar la relación entre la percepción subjetiva de la velocidad por parte del cuerpo técnico frente a los métodos objetivos (EPTS) se realizó la prueba Shapiro-Wilk, puesto que el tamaño de la muestra (<50 casos), encontrando que todas las variables siguen una distribución normal excepto el test promedio y el test circular 2. Para analizar la correlación entre variables objetivas y subjetivas del cuerpo técnico se realizó la prueba no paramétrica de Spearman.

Al analizar las relaciones entre la percepción subjetiva de la velocidad entre los diferentes integrantes del cuerpo técnico, observamos que los valores de percepción subjetiva nos arrojan que todas las variables no tienen una distribución normal. Esto es debido a que los valores de significación se encuentran por debajo de 0.05, a pesar de que la variable PSV Entrenador esté casi por encima.

TABLA 17. DISTRIBUCIÓN DE LOS DATOS DE LA PERCEPCIÓN SUBJETIVA DE LA VELOCIDAD ENTRE LOS INTEGRANTES DEL CUERPO TÉCNICO.

Variable	Test de normalidad kolmogorov smirnov			Test de normalidad shapiro wilk		
	Estadística	Df	Sig.	Estadística	Df	Sig.
PSV_Entrenador	0,212	19	0,025	0,904	19	0,058
PSV_2º Entrenador	0,250	19	0,003	0,870	19	0,014
PSV_Analista	0,229	19	0,010	0,874	19	0,017
PSV_Fisioterapeuta	0,213	19	0,023	0,889	19	0,031

PSV_Preparador Físico	0,219	19	0,017	0,885	19	0,260
-----------------------	-------	----	-------	-------	----	-------

Nota. Df: muestra, Sig: significación, PSV: percepción subjetiva de la velocidad.

Al contrario que en las variables de percepción subjetiva, al analizar la relación entre la percepción subjetiva de la velocidad por parte del cuerpo técnico frente a los métodos objetivos (GNSS) observamos que la mayoría de las variables tienen distribución normal, excepto test promedio y test circular sentido 2.

TABLA 18. DISTRIBUCIÓN DE LOS DATOS DE LA VELOCIDAD ENTRE LOS DIFERENTES TEST ANALIZADOS.

Test analizado	Test de normalidad kolmogorov smirnov			Test de normalidad shapiro wilk		
	Estad	df	Sig.	Estad	df	Sig.
Promedio Distancia	0,236	15	0,024	0,906	15	0,119
Promedio Velocidad	0,200	15	0,109	0,891	15	0,069
Test 20 (promedio)	0,132	15	0,200	0,949	15	0,507
Test 40 (promedio)	0,157	15	0,200	0,922	15	0,205
Test promedio (promedio)	0,261	15	0,007	0,625	15	0,000
Test circular sentido 1 (promedio)	0,148	15	0,200	0,943	15	0,418
Test circular sentido 2 (promedio)	0,206	15	0,085	0,876	15	0,041

Nota. Estad: Estadística, df: muestra, sig: significación.

3.2.3. Resultados

Al realizar el análisis descriptivo observamos que el mayor valor es proporcionado por el fisioterapeuta (7,42) y los menos valores son otorgador por entrenador (6,21) y el analista (6,32).

TABLA 19. ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA PERCEPCIÓN SUBJETIVA DE LA VELOCIDAD ENTRE LOS INTEGRANTES DEL CUERPO TÉCNICO.

N (Muestra)	Media	Mínimo	Máximo
19	6,21 ± 0,976	4	8
19	6,84 ± 0,958	5	8
19	6,32 ± 0,820	5	8
19	7,42 ± 0,902	6	9
19	6,63 ± 0,955	5	8

En cuanto al análisis inferencial, se encuentran diferencias significativas entre todos los miembros del cuerpo técnico, excepto entre el entrenador y el analista ($p=0.157$). Las mayores diferencias se encuentran entre el fisioterapeuta con el entrenador y el analista.

TABLA 20. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA PERCEPCIÓN SUBJETIVA DE LA VELOCIDAD ENTRE LOS INTEGRANTES DEL CUERPO TÉCNICO.

Comparación		Z	P	D
Analista	Preparador Físico	-2,44	0,014	0,34
	Entrenador	-1,41	0,157	-0,12
	Segundo Entrenador	-3,16	0,002	0,58
	Fisioterapeuta	-4,18	0,000	1,27
Preparador Físico	Entrenador	-2,82	0,005	-0,43
	Segundo Entrenador	-2,00	0,046	0,22
	Fisioterapeuta	-3,87	0,000	0,85
Entrenador	Segundo Entrenador	-3,46	0,001	0,65
	Fisioterapeuta	-4,06	0,000	1,28
Segundo Entrenador	Fisioterapeuta	-3,31	0,001	0,62

Nota. Z: Valor de significación de la prueba Wilcoxon, p: significación, d: tamaño del efecto mediante la d de Cohen.

Al comparar los datos subjetivos del cuerpo técnico con los datos objetivos, encontramos altas correlaciones entre los valores de percepción subjetiva de los diferentes miembros del cuerpo técnico. El promedio distancia, correlaciona con promedio velocidad y test promedio, y el promedio velocidad, correlaciona con el promedio distancia, test promedio y el test circular a ambos sentidos. Los test 20 y 40 metros lineales a sprint no presentan correlación, al igual que los valores objetivos y subjetivos.

TABLA 21. ANÁLISIS CORRELACIONAR DE LA PERCEPCIÓN SUBJETIVA DE LA VELOCIDAD DE LOS INTEGRANTES DEL CUERPO TÉCNICO Y A VELOCIDAD OBJETIVA.

Variable	Estadística	PSV_E	PSV_2ºE	PSV_A	PSV_F	PSV_PF	PD	PV	T20	T40	TP	TC1	TC2
PSV_E	Coef.	1,000	0,860	0,975	0,922	0,877	0,008	0,337	0,273	-0,155	0,171	0,171	0,308
	Corr. Sig		0,000	0,000	0,000	0,000	0,977	0,201	0,306	0,569	0,541	0,542	0,264
PSV_2º E	Coef.	0,860	1,000	0,842	0,849	0,892	-0,005	0,235	0,328	-0,024	0,150	0,182	0,390
	Corr. Sig	0,000		0,000	0,000	0,000	0,986	0,381	0,215	0,930	0,594	0,565	0,150
PSV_A	Coef.	0,975	0,842	1,000	0,938	0,876	0,038	0,332	0,250	-0,188	0,178	0,178	0,294
	Corr. Sig	0,000	0,000		0,000	0,000	0,890	0,209	0,349	0,496	0,527	0,527	0,288
PSV_F	Coef.	0,922	0,849	0,938	1,000	0,912	0,075	0,244	0,303	-0,073	0,133	0,112	0,316
	Corr. Sig	0,000	0,000	0,000		0,000	0,784	0,363	0,254	0,788	0,637	0,690	0,251
PSV_PF	Coef.	0,877	0,892	0,876	0,912	1,000	-0,074	0,230	0,387	-0,064	0,078	0,106	0,490
	Corr. Sig	0,000	0,000	0,000	0,000		0,786	0,391	0,139	0,812	0,783	0,708	0,064
PD	Coef.	0,008	-0,005	0,038	0,075	-0,074	1,000	0,538	-0,212	0,132	0,618	0,407	-0,111
	Corr. Sig	0,977	0,986	0,890	0,784	0,786		0,031	0,431	0,625	0,014	0,132	0,694
PV	Coef.	0,337	0,235	0,332	0,244	0,230	0,538	1,000	0,188	0,271	0,714	0,839	0,536
	Corr. Sig	0,201	0,381	0,209	0,363	0,391	0,031		0,485	0,311	0,003	0,000	0,040
T20	Coef.	0,273	0,328	0,250	0,303	0,387	-0,212	0,188	1,000	0,409	0,336	0,104	0,689
	Corr. Sig	0,306	0,215	0,349	0,254	0,139	0,431	0,485		0,116	0,221	0,713	0,004
T40	Coef.	-0,155	-0,024	-0,188	-0,073	-0,064	0,132	0,271	0,409	1,000	0,354	-0,021	0,411
	Corr. Sig	0,568	0,930	0,486	0,788	0,812	0,625	0,311	0,116		0,196	0,940	0,128
TP	Coef.	0,171	0,150	0,178	0,133	0,078	0,618	0,714	0,336	0,354	1,000	0,529	0,271
	Corr. Sig	0,542	0,594	0,527	0,637	0,783	0,014	0,003	0,221	0,196		0,043	0,328

TC1	Coef.	0,171	0,162	0,178	0,112	0,106	0,407	0,839	0,104	-0,021	0,529	1,000	0,500
	Corr.												
	Sig	0,542	0,565	0,527	0,690	0,708	0,132	0,000	0,713	0,940	0,043		0,058
TC2	Coef.	0,308	0,390	0,294	0,316	0,490	-0,111	0,536	0,689	0,411	0,271	0,500	1,000
	Corr.												
	Sig	0,264	0,150	0,288	0,251	0,064	0,694	0,040	0,004	0,128	0,328	0,058	

Nota. PSV_E= Percepción subjetiva de la velocidad del entrenador, PSV_2ºE= Percepción subjetiva de la velocidad del 2º entrenador, PSV_A= Percepción subjetiva de la velocidad del analista, PSV_F= Percepción subjetiva de la velocidad del fisioterapeuta, PSV_PF= Percepción subjetiva de la velocidad del preparador físico, PD= Promedio distancia, PV= Promedio velocidad, T20= Test 20 metros, T40= Test 40 metros, TP= Test promedio, TC1= Test circular en sentido izquierda, TC2= Test circular en sentido derecha, Coef. Corr.= Coeficiente de correlación.

3.2.4. Discusión

El objetivo de la presente investigación fue comprobar las relaciones entre la percepción subjetiva de la velocidad entre los diferentes integrantes del cuerpo técnico y la relación entre la percepción subjetiva de la velocidad por parte del cuerpo técnico frente a los métodos objetivos proporcionados mediante los sistemas de navegación global por satélite (GNSS).

La percepción subjetiva del esfuerzo fue desarrollada por Gunnar Borg en la década de 1970 con la finalidad de calificar el esfuerzo del deportista y su carga de trabajo durante un entrenamiento o competición (Borghi et al., 2020; Fanchini et al., 2017; Marynowicz et al., 2020; Rampinini et al., 2014). Originalmente, la escala iba del 6 al 20, y más tarde se adaptó a una versión que va del 0 al 10 (Gavela & Seone, 2016). Con el avance de la tecnología y la investigación han surgido métodos más objetivos y precisos para medir la carga de entrenamiento, como los EPTS, sin embargo, las escalas subjetivas siguen siendo muy practicadas debido al alto coste de los EPTS. Algunas revisiones sistemáticas como (Alarcón, 2022; Escobar, 2022; Lazarraga, 2019) han demostrado que pueden ser válidas y fiables para el control de la carga de entrenamiento. Sin embargo, su fiabilidad depende de varios factores como el nivel de experiencia o grado de tolerancia al esfuerzo que pueda presentar cada deportista.

Concretamente, las escalas subjetivas han sido utilizadas para medir la fatiga cardiovascular, el dolor muscular, la intensidad del ejercicio y el nivel de estrés del deportista (Alarcón, 2022; Op De Beéck et al., 2019; Vasquez Bonilla et al., 2023), pero bajo el conocimiento de los autores, no se ha publicado ningún artículo que haya intentado analizar si la percepción subjetiva de la velocidad puede ser un método fiable. Teniendo en cuenta que en los clubes no profesionales el perfil de velocidad puede ser un criterio habitual para la toma de decisiones (Toscano Bendala et al., 2014), esta comprobación puede ser de gran interés para los miembros de cuerpos técnicos que no dispongan de instrumentos objetivos.

Al analizar los resultados de este estudio entre la percepción subjetiva de la velocidad entre los diferentes integrantes del cuerpo técnico encontramos diferencias significativas entre todos los miembros del cuerpo técnico, excepto entre el entrenador y el analista ($p = 0.157$). Las mayores diferencias se encuentran entre el fisioterapeuta (7,42) con el entrenador (6,21) y el analista (6,32).

Por otro lado, al analizar la relación entre la percepción subjetiva de la velocidad por parte del cuerpo técnico frente a los métodos objetivos proporcionados mediante los sistemas de navegación global por satélite (GNSS) encontramos altas correlaciones entre los valores de percepción subjetiva de los diferentes miembros del cuerpo técnico. Encontramos correlaciones moderadas entre promedio distancia con promedio velocidad y test promedio, promedio velocidad con promedio distancia, test promedio y test circular a ambos sentidos, test promedio con promedio velocidad y promedio distancia, test circular con promedio velocidad. No hubo correlaciones entre los valores objetivos y subjetivos, ni con los test de 20 y 40 metros. Estas correlaciones pueden ser muy interesantes para realizar trabajos de velocidad específicos basados en las distancias que recorren en competición, pero futuras investigaciones deben aportar más datos para generalizar estas correlaciones.

El test más exacto para medir el potencial de cada jugador es el que está basado en su distancia óptima de sprint. Los test comunes de 20 y 40 metros usados en la literatura no son específicos y no tienen en cuenta el rendimiento del jugador. Los valores objetivos y subjetivos no se correlacionan por lo que deben utilizarse de forma simultánea, no pudiendo uno excluir al otro ni viceversa.

3.2.5. Conclusiones

Los resultados de la investigación indican que no hay correlaciones entre los valores objetivos recogidos mediante GNSS y los subjetivos aportados por el cuerpo técnico. Esto sugiere que la percepción subjetiva puede ser útil para definir los perfiles de velocidad de los jugadores, aunque se advierte que la interpretación subjetiva debe realizarse con precaución debido a las diferencias encontradas entre los evaluadores y a la no correlación con los datos objetivos de velocidad. Aunque la percepción subjetiva puede ser útil en la evaluación de la velocidad de los jugadores, es importante considerar la variabilidad entre diferentes evaluadores al interpretar los resultados. Estos hallazgos contribuyen al entendimiento de cómo se evalúa y controla la carga de entrenamiento en el fútbol y destacan la importancia de combinar enfoques subjetivos y objetivos en el monitoreo de los deportistas

3.2.6. Bibliografía

- Alarcón, R. P. (2022). Revisión bibliográfica acerca de la relación del RPE con variables de carga externa.
- Aquino, R., Melli-Neto, B., Ferrari, J. V. S., Bedo, B. L. S., Vieira, L. H. P., Santiago, P. R. P., Gonçalves, L. G. C., Oliveira, L. P., & Puggina, E. F. (2019). Validity and reliability of a 6-a-side small-sided game as an indicator of match-related physical performance in elite youth Brazilian soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 37(23), 2639-2644. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1608895>
- Beato, M., & Drust, B. (2020). Acceleration intensity is an important contributor to the external and internal training load demands of repeated sprint exercises in soccer players. *Research in Sports Medicine*, 1-10. <https://doi.org/10.1080/15438627.2020.1743993>
- Borghi, S., Colombo, D., La Torre, A., Banfi, G., Bonato, M., & Vitale, J. A. (2020). Differences in GPS variables according to playing formations and playing positions in U19 male soccer players. *Research in Sports Medicine*, 1-15. <https://doi.org/10.1080/15438627.2020.1815201>
- Carling, C., Gall, F. L., & Reilly, T. P. (2010). Effects of Physical Efforts on Injury in Elite Soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 31(03), 180-185. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1241212>
- Enes, A., Oneda, G., Alves, D. L., Palumbo, D. de P., Cruz, R., Moiano Junior, J. V. M., Novack, L. F., & Osiecki, R. (2020). Determinant Factors of the Match-Based Internal Load in Elite Soccer Players. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 1-8. <https://doi.org/10.1080/02701367.2019.1710445>
- Escobar, J. F. P. (2022). Efectos de los Espacios Reducido sobre la Carga Interna y Externa en el Fútbol: Una Revisión Sistemática.
- Fanchini, M., Ferraresi, I., Petruolo, A., Azzalin, A., Ghielmetti, R., Schena, F., & Impellizzeri, F. M. (2017). Is a retrospective RPE appropriate in soccer? Response shift and recall bias. *Science and Medicine in Football*, 1(1), 53-59. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1231411>
- Faude, O., Koch, T., & Meyer, T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *Journal of Sports Sciences*, 30(7), 625-631. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.665940>
- Gavela, T., & Seone, M. (2016). Perceived exertion and perceived recovery in professional spanish refereeing: A case study. *Cuadernos de Psicología del Deporte*, 16.

- Haugen, T. A., Tønnessen, E., & Seiler, S. (2013). Anaerobic Performance Testing of Professional Soccer Players 1995–2010. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(2), 148-156. <https://doi.org/10.1123/ijsp.8.2.148>
- Ingebrigtsen, J., Dalen, T., Hjelde, G. H., Drust, B., & Wisløff, U. (2015). Acceleration and sprint profiles of a professional elite football team in match play. *European Journal of Sport Science*, 15(2), 101-110. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.933879>
- Lazarraga, P. C. (2019). Efecto de las estrategias de enseñanza incidentales sobre la carga de trabajo en el fútbol. Una revisión sistemática.
- Malone, S., Owen, A., Mendes, B., Hughes, B., Collins, K., & Gabbett, T. J. (2018). High-speed running and sprinting as an injury risk factor in soccer: Can well-developed physical qualities reduce the risk? *Journal of science and medicine in sport*, 21(3), 257-262. <https://sponet.de/Record/4047212>
- Martínez-Cabrera, F. I., & Martín-Barrero, A. (2021). La percepción subjetiva del esfuerzo como herramienta de monitorización en fútbol profesional. *Revista Iberoamericana de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 10(1), 37-48. <https://doi.org/10.24310/riccafd.2021.v10i1.11164>
- Marynowicz, J., Kikut, K., Lango, M., Horna, D., & Andrzejewski, M. (2020). Relationship Between the Session-RPE and External Measures of Training Load in Youth Soccer Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(10), 2800-2804. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003785>
- Miñano-Espin, J., Casáis, L., Lago-Peñas, C., & Gómez-Ruano, M. Á. (2017). High Speed Running and Sprinting Profiles of Elite Soccer Players. *Journal of Human Kinetics*, 58(1), 169-176. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0086>
- Op De Beéck, T., Jaspers, A., Brink, M. S., Frencken, W. G. P., Staes, F., Davis, J. J., & Helsen, W. F. (2019). Predicting Future Perceived Wellness in Professional Soccer: The Role of Preceding Load and Wellness. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(8), 1074-1080. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0864>
- Palucci Vieira, L. H., Aquino, R., Lago-Peñas, C., Munhoz Martins, G. H., Puggina, E. F., & Barbieri, F. A. (2018). Running Performance in Brazilian Professional Football Players During a Congested Match Schedule: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(2), 313-325. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002342>

- Rago, V., Brito, J., Figueiredo, P., Krustup, P., & Rebelo, A. (2020). Application of Individualized Speed Zones to Quantify External Training Load in Professional Soccer. *Journal of Human Kinetics*, 72, 11.
- Rampinini, E., Alberti, G., Fiorenza, M., Riggio, M., Sassi, R., Borges, T., & Coutts, A. (2014). Accuracy of GPS Devices for Measuring High-intensity Running in Field-based Team Sports. *International Journal of Sports Medicine*, 36(01), 49-53. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1385866>
- Rampinini, E., Coutts, A., Castagna, C., Sassi, R., & Impellizzeri, F. (2007). Variation in Top Level Soccer Match Performance. *International Journal of Sports Medicine*, 28(12), 1018-1024. <https://doi.org/10.1055/s-2007-965158>
- Rico-González, M., Oliveira, R., Palucci Vieira, L. H., Pino-Ortega, J., & Clemente, F. (2022). Players' performance during worst-case scenarios in professional soccer matches: A systematic review. *Biology of Sport*, 39(3), 695-713. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2022.107022>
- Rico-González, M., Pino-Ortega, J., Nakamura, F. Y., Arruda Moura, F., Rojas-Valverde, D., & Los Arcos, A. (2020). Past, present, and future of the technological tracking methods to assess tactical variables in team sports: A systematic review. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: *Journal of Sports Engineering and Technology*, 234(4), 281-290. <https://doi.org/10.1177/1754337120932023>
- Sweeting, A. J., Cormack, S. J., Morgan, S., & Aughey, R. J. (2017). When Is a Sprint a Sprint? A Review of the Analysis of Team-Sport Athlete Activity Profile. *Frontiers in Physiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00432>
- Bendala, F. J. T., Sánchez, F. J. N., & Moreno-Arrones, L. J. S. (2014). Análisis de los desplazamientos a muy alta velocidad en fútbol profesional mediante tecnología gps (Doctoral dissertation, Universidad Pablo de Olavide).
- Vasquez Bonilla, A. A., Urrutia, S., Bustamante, A., & Romero, J. F. (2023). Control del entrenamiento con datos GPS y medidas subjetivas de fatiga y recuperación en futbolistas hondureños durante un periodo preparatorio para los Juegos Olímpicos de Tokio 2020/2021. *MHSalud: Revista en Ciencias del Movimiento Humano y Salud*, 20(2), 1-18. <https://doi.org/10.15359/mhs.20-2.3>
- Watson, A., Brickson, S., Brooks, A., & Dunn, W. (2017). Subjective well-being and training load predict in-season injury and illness risk in female youth soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 51(3), 194-199. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096584>

3.3. Velocidad máxima en fútbol.

3.3.1. Introducción.

El fútbol es un deporte colectivo en el cual los futbolistas recorren una distancia aproximada de 10 km por partido (Palucci Vieira et al., 2018), de los cuales un 10% representan acciones de alta velocidad (Rampinini et al., 2007). Estas acciones de alta velocidad o sprints están relacionados con la fatiga neuromuscular y las lesiones musculares (Carling et al., 2010). A su vez, estas acciones de alta velocidad o sprints son las que contribuyen a tener éxito durante la competición (Haugen et al., 2013), siendo el sprint la acción más utilizada para conseguir marcar gol (Faude et al., 2012) o driblar a un rival (Sweeting et al., 2017). Los profesionales del acondicionamiento físico deben acentuar y controlar este tipo de acciones con el fin de incrementar el rendimiento del equipo (Haugen et al., 2013; Oliva-Lozano et al., 2021), siendo conscientes de la demanda física necesaria en función de la posición que otorga el jugador en el terreno de juego y de las características individuales de cada jugador (Ingebrigtsen et al., 2015; Miñano-Espin et al., 2017).

La obtención de la velocidad máxima se consigue mediante diferentes métodos como el test lineal de 40 metros (Scantlebury et al., 2020; Tomazoli et al., 2020), el test lineal de 20 metros (Doncaster & Unnithan, 2019; Saward et al., 2016), pruebas de aptitud físicas (Rago, Brito, Figueiredo, Krustup, et al., 2020; Scott & Lovell, 2018) o la velocidad máxima obtenida durante entrenamientos o competición (Aquino et al., 2019; Springham et al., 2020).

El objetivo de este estudio es comprobar las diferencias entre los distintos test de velocidad y las diferencias entre los jugadores en los diferentes test. Nuestra hipótesis es que cada jugador en base a sus características necesita un test diferente.

3.3.2. Método

3.3.2.1. Participantes

Diecinueve futbolistas juveniles (edad 19.85 ± 0.83 , peso $70.58 \text{ kg} \pm 6.77$ y altura $180.11 \text{ cm} \pm 5.94$) participaron en el estudio. El equipo estaba formado por 4 laterales, 4 centrales, 3

mediocentros, 4 delanteros y 4 extremos. La altura de los deportistas fue obtenido mediante un tallímetro de pared (SECA, Hamburgo, Alemania), y el peso mediante un monitor de composición corporal (TANITA, Tokio, Japón).

Todos los deportistas contaban con al menos 10 años de práctica en fútbol. Antes de comenzar el estudio, el club, federación, deportistas y familiares fueron informados de los propósitos del mismo, obteniendo el consentimiento informado por escrito para participar en la investigación. Se realizó el acuerdo con el Comité de Bioética de la Universidad de Murcia mediante la Declaración de Helsinki (2013).

TABLA 22. DATOS ANTROPOMÉTRICOS DE LOS PARTICIPANTES EN ESTA INVESTIGACIÓN

Posición	Peso medio (kg)	Desviación típica	Altura media (cm)	Desviación típica	Edad media (años)	Desviación típica
Lateral	66.96	2.45	178.16	5.67	19.87	0.22
Central	76.74	1.09	185.47	3.50	20.18	0.56
Mediocentro	70.36	6.55	178.27	4.78	20.16	0.77
Delantero	71.88	9.86	181.62	6.80	19.80	0.33
Extremo	67.37	4.15	176.72	3.44	19.32	1.40

3.3.2.2. Instrumento de medida

Los datos de partidos oficiales y entrenamientos fueron registrados mediante dispositivos inerciales WIMU PRO™ (RealTack Systems, Almería, España) formado por cuatro acelerómetros de 100 Hz, un giroscopio de 100 Hz, un magnetómetro de 100 Hz, y un sistema de posicionamiento GNSS de 10 Hz. Los dispositivos previamente han sido utilizados y validados por otros autores (Bastida Castillo et al., 2018; Gómez-Carmona et al., 2019; Pons et al., 2019)

El dispositivo inercial se introduce en un chaleco específico proporcionado por la empresa, el cuál iba situado en la zona escapular de la espalda. El dispositivo presenta un tamaño de 81 x 45 x 16

milímetros, un peso 70 gramos y una autonomía de 4 horas de grabación. El dispositivo era encendido y puesto al jugador 15 minutos antes de la hora de inicio de la sesión de entrenamiento o partido. Los datos recopilados durante el estudio fueron analizados mediante el software S PROTM (RealTack Systems, Almería, España).

3.3.2.3. Recogida de datos

El diseño del estudio se programó en base al protocolo (Rico-González et al., 2020) para garantizar la obtención de datos mediante GNSS. Para medir la distancia se obtuvieron 16 puntos de 18 y para medir la velocidad 17 de 19 puntos. Los datos fueron recogidos en la Región de Murcia con cielo despejado y sin edificación cercana al recinto deportivo.

3.3.2.4. Procedimiento

El estudio se llevó a cabo durante 3 meses competitivos, recopilando 36 sesiones de entrenamiento (3 entrenamientos por semana) y 13 partidos oficiales de Liga Nacional Juvenil Grupo X de la Real Federación Española de Fútbol, durante la temporada 2020-2021. Las sesiones de entrenamiento se realizaban lunes, miércoles y viernes, con una duración de 90 minutos. Los partidos se jugaban los domingos a las 12:00 horas. Las dimensiones del terreno de juego de la competición oscilaban entre 55-70 metros de ancho por 90-110 metros de largo. La estructura de los entrenamientos consistía en un calentamiento general de 10 minutos, un calentamiento específico de 10 minutos, 3 tareas de parte principales con diferentes contenidos técnico-tácticos y físicos de 65 minutos, y una vuelta a la calma de 5 minutos.

3.3.2.5. Procedimiento para conocer la velocidad objetiva

Para conocer la velocidad máxima del futbolista se realizaron 3 test de campo. Estos fueron realizados los miércoles de las primeras 3 semanas. El primer test consistió en realizar 3 series de 20 metros a máxima velocidad con 90 segundos de descanso. El segundo test realizado fueron 3 series de 40 metros a máxima velocidad con 90 segundos de descanso. El tercer test fue 4 carreras circulares al semi-círculo del área penalti en ambas direcciones con 90 segundos de descanso. En todos los test se inició la carrera desde parado. La carrera fue iniciada tras una señal sonora del examinador.

Por otro lado, se registraron las 5 velocidades máximas de cada jugador durante los 13 partidos oficiales, y la distancia que recorrieron para alcanzar esas velocidades. Las 5 velocidades máximas en competición fueron conseguidas partiendo desde diferentes velocidades o desde parado. Se analizó la distancia desde que se produjo un aumento de velocidad hasta alcanzar el pico de velocidad o descenso de velocidad. Con dichas distancias promedio obtenidas en base a las 5 velocidades máximas del jugador en la competición, se realizó un test individualizado la última semana de la investigación.

3.3.2.6. Análisis estadístico

Los análisis estadísticos fueron realizados mediante SPSS v. 28.0 y JAMOV v. 2.3.13. Para comprobar la normalidad de los datos se realizó la prueba Shapiro-Wilk, puesto que el tamaño de la muestra es menor de 50 pasos y encontramos 2 variables con distribución no normal y 5 variables con distribución normal. . Por tanto, atendiendo a la mayoría haremos pruebas paramétricas para evaluar las diferencias.

Para comprobar si existen diferencias entre los diferentes test de velocidad se realizó una Prueba T medidas repetidas. Por otro lado, el análisis de las diferencias entre los jugadores en los diferentes test se llevó a cabo mediante un cluster de K-Medias en base a la velocidad promedio de los jugadores, clasificando a los jugadores en tres grupos (Grupo 1: Lentos, Grupo 2: Rápidos, Grupo 3: Medios) y posteriormente un Anova de 1 vía.

TABLA 23. DISTRIBUCIÓN DE LOS DATOS DE LOS DIFERENTES TEST DE VELOCIDAD.

Variable	Test de normalidad kolmogorov smirnov			Test de normalidad shapiro wilk		
	Estadística	Df	Sig.	Estadística	Df	Sig.
Promedio Distancia	0,235	16	0,019	0,894	16	0,063
Promedio Velocidad	0,219	16	0,039	0,873	16	0,030
Test 20 (Promedio)	0,137	16	0,200	0,950	16	0,485
Test 40 (Promedio)	0,152	16	0,200	0,923	16	0,191

Test Promedio (Promedio)			0,257	16	0,006	0,630	16	0,000
Test 1(Promedio)	Circular	Sentido	0,150	16	0,200	0,939	16	0,336
Test 2(Promedio)	Circular	Sentido	0,190	16	0,125	0,896	16	0,071
Nota. Df: muestra, Sig: significación.								

3.3.3. Resultados

Encontramos diferencias significativas entre todos los valores de las pruebas realizadas excepto entre el Test Promedio con Test 40 metros y el Test Sentido Circular 1 con Test Sentido Circular 2. Esto nos indica que las pruebas no son comparables entre ellas respecto a la velocidad alcanzada, excepto las dos referencias anteriores.

TABLA 24. DIFERENCIAS EN LA PRUEBA T DE MEDIDAS REPETIDAS.

	Media	Desviación típica	Desviación del error	95% Intervalo de confianza menor	95% Intervalo de confianza mayor	T	DF	Sig
Promedio Distancia- Promedio Velocidad	6,843	4,239	1,028	4,663	9,023	6,566	16	0,000
Promedio Distancia- Test 20 (Promedio)	5,371	5,923	1,436	2,325	8,416	3,739	16	0,002
Promedio Distancia- Test 40 (Promedio)	3,115	5,620	1,363	0,225	6,005	2,285	16	0,036
Promedio Distancia- Test Promedio (Promedio)	2,285	4,463	1,115	-0,093	4,663	2,048	15	0,059
Promedio Distancia- Test Circular 1 (Promedio)	7,441	5,094	1,273	4,726	10,156	5,843	15	0,000
Promedio Distancia- Test Circular 2 (Promedio)	7,113	5,402	1,350	4,234	9,992	5,267	15	0,000
Promedio Velocidad- Test 20 (Promedio)	-1,472	2,304	0,558	-2,657	-0,287	-2,635	16	0,018
Promedio Velocidad- Test 40 (Promedio)	-3,728	1,998	0,484	-4,755	-2,700	-7,690	16	0,000
Promedio Velocidad- Test Promedio (Promedio)	-4,166	2,049	0,512	-5,258	-3,074	-8,132	15	0,000
Promedio Velocidad- Test Circular 1 (Promedio)	0,990	1,504	0,376	0,188	1,792	2,632	15	0,019
Promedio Velocidad- Test Circular 2 (Promedio)	0,662	1,713	0,428	-0,250	1,575	1,546	15	0,143
Test 20 (Promedio)- Test 40 (Promedio)	-2,255	1,565	0,379	-3,060	-1,450	-5,940	16	0,000
Test 20 (Promedio)- Test Promedio (Promedio)	-2,705	3,348	0,837	-4,489	-0,921	-3,232	15	0,006
Test 20 (Promedio)- Test Circular 1 (Promedio)	2,451	1,628	0,407	1,583	3,319	6,020	15	0,000
Test 20 (Promedio)- Test Circular 2 (Promedio)	2,123	1,239	0,309	1,463	2,783	6,854	15	0,000
Test 40 (Promedio)- Test Promedio (Promedio)	-0,502	2,922	0,730	-2,060	1,054	-0,688	15	0,502
Test 40 (Promedio)- Test Circular 1 (Promedio)	4,653	1,620	0,405	3,790	5,517	11,487	15	0,000
Test 20 (Promedio)- Test Circular 2 (Promedio)	4,325	1,475	0,368	3,539	5,112	11,726	15	0,000

Test Promedio (Promedio)- Test Circular 1 (Promedio)	5,156	2,975	0,743	3,570	6,742	6,932	15	0,000
Test Promedio (Promedio)- Test Circular 2 (Promedio)	4,828	3,111	0,777	3,171	6,486	6,209	15	0,000
Test Circular 1 (Promedio)- Test Circular 2 (Promedio)	-0,327	0,889	0,222	-0,801	0,146	-1,474	15	0,161

Nota. Df: muestra, Sig: significación.

Encontramos diferencias significativas en las variables Promedio Distancia, Promedio Velocidad y Test Promedio. Esto es debido a que el clúster ha sido realizado considerando la variable velocidad promedio. En el resto de variables no se encuentran diferencias por lo que no existe discriminación entre grupos.

TABLA 25. CLUSTER DE JUGADORES EN BASE A LA VELOCIDAD PROMEDIO.

Variable	Muestra	Media	Desviación típica
Promedio Distancia Grupo 1	3	25,89	1,92
Promedio Distancia Grupo 2	9	36,26	3,09
Promedio Distancia Grupo 3	5	34,36	6,22
Promedio Velocidad Grupo 1	3	24,28	2,18
Promedio Velocidad Grupo 2	9	28,31	0,51
Promedio Velocidad Grupo 3	5	26,37	1,12
Test 20 (Promedio) Grupo 1	3	28,49	0,79
Test 20 (Promedio) Grupo 2	9	28,61	1,00
Test 20 (Promedio) Grupo 3	5	28,30	2,10
Test 40 (Promedio) Grupo 1	3	29,85	1,44
Test 40 (Promedio) Grupo 2	9	30,82	1,49
Test 40 (Promedio) Grupo 3	5	31,18	1,10
Test Promedio (Promedio) Grupo 1	3	27,20	6,26
Test Promedio (Promedio) Grupo 2	9	32,30	1,27
Test Promedio (Promedio) Grupo 3	5	31,61	0,78
Test Circular Sentido 1(Promedio) Grupo 1	3	25,18	0,11
Test Circular Sentido 1(Promedio) Grupo 2	9	26,54	1,11
Test Circular Sentido 1(Promedio) Grupo 3	5	25,47	0,66
Test Circular Sentido 2(Promedio) Grupo 1	3	25,92	1,03
Test Circular Sentido 2(Promedio) Grupo 2	9	26,79	1,19
Test Circular Sentido 2(Promedio) Grupo 3	5	25,66	0,31

TABLA 26. ANÁLISIS MEDIANTE ANOVA.

Variable	Suma de Cuadrados	DF	Cuadrados Medios	F	Sig
Promedio Distancia entre grupos	243,371	2	121,685	7,123	0,007
Promedio Distancia dentro del grupo	239,180	14	17,084		
Promedio Distancia Total	482,551	16			
Promedio Velocidad entre grupos	39,581	2	19,791	16,575	0,000
Promedio Velocidad dentro del grupo	16,716	14	1,194		
Promedio Velocidad Total	56,297	16			
Test 20 (Promedio) entre grupos	0,319	2	0,160	0,082	0,921
Test 20 (Promedio) dentro del grupo	27,185	14	1,942		
Test 20 (Promedio) Total	27,505	16			
Test 40 (Promedio) entre grupos	3,408	2	1,704	0,884	0,435
Test 40 (Promedio) dentro del grupo	26,982	14	1,927		
Test 40 (Promedio) Total	30,390	16			
Test Pro. (Promedio) entre grupos	59,659	2	29,830	4,158	0,040
Test Pro.(Promedio) dentro del grupo	93,264	13	7,174		
Test Promedio (Promedio) Total	152,924	15			
Test C.1 (Promedio) entre grupos	5,713	2	2,856	3,304	0,069
Test C.1 (Promedio) dentro del grupo	11,239	13	0,865		
Test C.1 (Promedio) Total	16,952	15			
Test C.2 (Promedio) entre grupos	4,226	2	2,113	1,989	0,176
Test C.2 (Promedio) dentro del grupo	13,810	13	1,062		
Test C.2 (Promedio) Total	18,036	15			

3.3.4. Discusión

Nuestro objetivo en este estudio fue analizar si la velocidad máxima de cada jugador debe ser analizada con el mismo test, o por si el contrario necesita un test con una distancia adecuada a las características físicas de cada jugador. Los resultados encontrados corroboran nuestra hipótesis, afirmando que cada jugador necesita un test diferente para analizar su velocidad máxima.

Una reciente revisión sistemática (Díaz-Soto et al., 2023) afirma la imposibilidad de identificar un test estándar para analizar la velocidad máxima dadas las amplias discrepancias encontradas en la literatura. A la hora de analizar la velocidad máxima de un grupo se utiliza el mismo

test para todos sin tener en cuenta el perfil de velocidad de los jugadores (Beato et al., 2020; Bradley & Vescovi, 2015; Díaz-Soto et al., 2023; Scott et al., 2020)

En este estudio hemos analizado las 5 velocidades máximas de cada jugador y la distancia que recorrieron en alcanzar el pico de velocidad en competición. En base a esas 5 velocidades máximas de los 13 partidos oficiales, hemos obtenido una media de velocidad máxima de cada jugador denominada en el artículo como Velocidad Promedio. Por otro lado, en base a las 5 velocidades máximas de los 13 partidos oficiales de cada jugador, hemos elaborado un test basado en la media de las distancias que recorren en competición para diseñar un test específico, denominado Test Promedio. Este estudio ha clasificado a los jugadores por medio de un Cluster (Grupo 1: Lentos, Grupo 2: Rápidos, Grupo 3: Medios) basado en los valores de la Velocidad Promedio.

Este estudio tenía el objetivo de comparar los resultados obtenidos en los Test Promedio, Test 40 metros, Test 20 metros, Test Circular Sentido 1 y Test Circular Sentido 2. Los resultados mostraron que el único test que mantiene a cada jugador dentro del grupo (Grupo 1: Lentos, Grupo 2: Rápidos, Grupo 3: Medios) es el test promedio. Sin embargo, los demás test han mostrado diferencias a la hora de clasificar los jugadores. Un jugador clasificado en el Cluster como lento, a la hora de hacer un test que no sea el Test Promedio es catalogado en otra clasificación diferente a la de la Velocidad Promedio. Por otro lado, y sin tener en cuenta el Cluster, encontramos que no únicamente no hay diferencias significativas entre el Test 40 metros y el Test Promedio.

El Test de 40 metros parece ser una distancia adecuada para que independientemente del perfil de velocidad de cada jugador se alcance la velocidad máxima (Kyprianou et al., 2022), sin embargo es una práctica muy descontextualizada que no tiene en cuenta las características físicas del jugador ni las demandas del sistema de juego (Abbott et al., 2018; Casamichana et al., 2018) pudiendo ocasionar una sobre carga en el jugador con efectos adversos al rendimiento deportivo (Malone et al., 2017; Rago et al., 2020; Scott et al., 2020).

Las 3 variables analizadas de manera individualizada en este estudio, Velocidad Promedio, Distancia Promedio y Test Promedio son las únicas que discriminan entre (Grupo 1: Lentos, Grupo 2: Rápidos, Grupo 3: Medios), por lo que el Test Promedio es una herramienta adecuada para que el jugador alcance de manera analítica su velocidad máxima atendiendo a estímulos competitivos como es la distancia.

Por lo tanto, lo que plantean los resultados de nuestro estudio es que debe analizar la velocidad máxima de cada jugador utilizando diferentes test, puesto que hay diferencias entre todos los test analizados, y la propuesta lanzada en el estudio es que se debe realizar en base a la distancia promedio que tarda un jugador en alcanzar la velocidad máxima.

3.3.5. Conclusión

En este estudio, nos propusimos examinar si la velocidad máxima de cada jugador debe evaluarse utilizando el mismo test o si, en cambio, requiere un test adaptado a las características físicas individuales de cada jugador. Los hallazgos obtenidos respaldan nuestra suposición, confirmando que cada jugador necesita un método de evaluación específico para determinar su velocidad máxima, a pesar de que la distancia de 40 metros puede ser válida para que el jugador alcance su velocidad máxima.

3.3.6. Limitaciones del estudio y Futuras Aplicaciones

Sin embargo, no hay investigación científica que escape de limitaciones, y en este estudio, aunque hayamos analizado si diferentes jugadores deben tener diferentes test para medir la velocidad máxima, futuros estudios deberán analizar de manera individual y no en clúster los resultados obtenidos con una muestra más grande para poder generalizar los resultados.

3.3.7. Bibliografía

- Abbott, W., Brickley, G., & Smeeton, N. J. (2018). Physical demands of playing position within English Premier League academy soccer. *Journal of Human Sport and Exercise*, 13(2). <https://doi.org/10.14198/jhse.2018.132.04>
- Aquino, R., Melli-Neto, B., Ferrari, J. V. S., Bedo, B. L. S., Vieira, L. H. P., Santiago, P. R. P., Gonçalves, L. G. C., Oliveira, L. P., & Puggina, E. F. (2019). Validity and reliability of a 6-

- a-side small-sided game as an indicator of match-related physical performance in elite youth Brazilian soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 37(23), 2639-2644. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1608895>
- Beato, M., Drust, B., & Iacono, A. D. (2020). Implementing High-speed Running and Sprinting Training in Professional Soccer. *International Journal of Sports Medicine*, a-1302-7968. <https://doi.org/10.1055/a-1302-7968>
- Bradley, P. S., & Vescovi, J. D. (2015). Velocity thresholds for women's soccer matches: Sex specificity dictates high-speed running and sprinting thresholds - Female Athletes in Motion (FAiM). *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(1), 112-116. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0212>
- Carling, C., Gall, F. L., & Reilly, T. P. (2010). Effects of Physical Efforts on Injury in Elite Soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 31(03), 180-185. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1241212>
- Casamichana, D., Morencos, E., Romero-Moraleda, B., & Gabbett, T. J. (2018). The Use of Generic and Individual Speed Thresholds for Assessing the Competitive Demands of Field Hockey. *Journal of Sports Science & Medicine*, 17(3), 366-371.
- Díaz-Soto, F. J., Rico-González, M., Palucci Vieira, L. H., Clemente, F. M., Nobari, H., & Pino-Ortega, J. (2023). A systematic review of velocity and accelerometer thresholds in soccer. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 18(5), 1768-1781. <https://doi.org/10.1177/17479541221143346>
- Doncaster, G., & Unnithan, V. (2019). Between-Game Variation of Physical Soccer Performance Measures in Highly Trained Youth Soccer Players: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(7), 1912-1920. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002132>
- Faude, O., Koch, T., & Meyer, T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *Journal of Sports Sciences*, 30(7), 625-631. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.665940>
- Haugen, T. A., Tønnessen, E., & Seiler, S. (2013). Anaerobic Performance Testing of Professional Soccer Players 1995–2010. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(2), 148-156. <https://doi.org/10.1123/ijsp.8.2.148>

- Ingebrigtsen, J., Dalen, T., Hjelde, G. H., Drust, B., & Wisløff, U. (2015). Acceleration and sprint profiles of a professional elite football team in match play. *European Journal of Sport Science*, 15(2), 101-110. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.933879>
- Kyprianou, E., Di Salvo, V., Lolli, L., Al Haddad, H., Villanueva, A. M., Gregson, W., & Weston, M. (2022). To Measure Peak Velocity in Soccer, Let the Players Sprint. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(1), 273-276. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003406>
- Malone, S., Owen, A., Mendes, B., Hughes, B., Collins, K., & Gabbett, T. J. (2018). High-speed running and sprinting as an injury risk factor in soccer: Can well-developed physical qualities reduce the risk? *Journal of science and medicine in sport*, 21(3), 257-262.
- Miñano-Espin, J., Casáis, L., Lago-Peñas, C., & Gómez-Ruano, M. Á. (2017). High Speed Running and Sprinting Profiles of Elite Soccer Players. *Journal of Human Kinetics*, 58(1), 169-176. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0086>
- Oliva-Lozano, J. M., Rojas-Valverde, D., Gómez-Carmona, C. D., Fortes, V., & Pino-Ortega, J. (2021). 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*, 21(4), 497-506. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1751305>
- Palucci Vieira, L. H., Aquino, R., Lago-Peñas, C., Munhoz Martins, G. H., Puggina, E. F., & Barbieri, F. A. (2018). Running Performance in Brazilian Professional Football Players During a Congested Match Schedule: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(2), 313-325. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000002342>
- Rago, V., Brito, J., Figueiredo, P., Krstrup, P., & Rebelo, A. (2020). Application of Individualized Speed Zones to Quantify External Training Load in Professional Soccer. *Journal of Human Kinetics*, 72, 11.
- Rampinini, E., Coutts, A., Castagna, C., Sassi, R., & Impellizzeri, F. (2007). Variation in Top Level Soccer Match Performance. *International Journal of Sports Medicine*, 28(12), 1018-1024. <https://doi.org/10.1055/s-2007-965158>
- Rico-González, M., Pino-Ortega, J., Nakamura, F. Y., Arruda Moura, F., Rojas-Valverde, D., & Los Arcos, A. (2020). Past, present, and future of the technological tracking methods to assess tactical variables in team sports: A systematic review. *Proceedings of the Institution of*

Mechanical Engineers, *Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 234(4), 281-290. <https://doi.org/10.1177/1754337120932023>

Saward, C., Morris, J. G., Nevill, M. E., Nevill, A. M., & Sunderland, C. (2016). Longitudinal development of match-running performance in elite male youth soccer players: Match-running performance in youth soccer. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(8), 933-942. <https://doi.org/10.1111/sms.12534>

Scantlebury, S., Till, K., Beggs, C., Dalton-Barron, N., Weaving, D., Sawczuk, T., & Jones, B. (2020). Achieving a desired training intensity through the prescription of external training load variables in youth sport: More pieces to the puzzle required. *Journal of Sports Sciences*, 38(10), 1124-1131. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1743047>

Scott, D., & Lovell, R. (2018). Individualisation of speed thresholds does not enhance the dose-response determination in football training. *Journal of Sports Sciences*, 36(13), 1523-1532. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1398894>

Scott, D., Norris, D., & Lovell, R. (2020). Dose–Response Relationship Between External Load and Wellness in Elite Women’s Soccer Matches: Do Customized Velocity Thresholds Add Value? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(9), 1245-1251. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0660>

Springham, M., Williams, S., Waldron, M., Strudwick, A. J., Mclellan, C., & Newton, R. U. (2020). Prior workload has moderate effects on high-intensity match performance in elite-level professional football players when controlling for situational and contextual variables. *Journal of Sports Sciences*, 38(20), 2279-2290. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1778355>

Sweeting, A. J., Cormack, S. J., Morgan, S., & Aughey, R. J. (2017). When Is a Sprint a Sprint? A Review of the Analysis of Team-Sport Athlete Activity Profile. *Frontiers in Physiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00432>

Tomazoli, G., Marques, J. B., Farooq, A., & Silva, J. R. (2020). Estimating Postmatch Fatigue in Soccer: The Effect of Individualization of Speed Thresholds on Perceived Recovery. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(9), 1216-1222. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0399>

BLOQUE IV. CONCLUSIONES GENERALES

4.1. Discusión general.

La evaluación de la velocidad máxima es fundamental para comprender el desempeño de los futbolistas, optimizar su rendimiento deportivo y prevenir lesiones. Sin embargo, existen diversos procedimientos y herramientas para evaluar la velocidad máxima en fútbol. En esta tesis doctoral abordamos esta complejidad con el fin de proporcionar una comprensión concisa y añadir un nuevo punto de vista de cara a futuras investigaciones mediante los objetivos planteados.

El primer objetivo general trata de evaluar el consenso existente en la literatura respecto a la definición de umbrales individualizados para establecer la intensidad del movimiento a diferentes velocidades y las aceleraciones, llegando a la conclusión de que no hay consenso en la literatura a la hora de justificar los umbrales individualizados para velocidad y la aceleración. Este hecho, resalta la necesidad de unificar entre la comunidad científica, los profesionales del deporte y las empresas encargadas de configurar los EPTS un método estándar que justifique los umbrales en base a porcentajes considerando las características individuales de los futbolistas.

El segundo objetivo general busca analizar la relación entre la percepción subjetiva de la velocidad por parte del cuerpo técnico y los métodos objetivos proporcionados por sistemas de navegación global por satélite (GNSS). Se ha evidenciado la discrepancia entre la percepción subjetiva de la velocidad por parte del cuerpo técnico y los métodos objetivos proporcionados por GNSS. Este hallazgo sugiere la importancia de integrar mediciones objetivas para la evaluación del rendimiento deportivo.

El tercer objetivo general se orienta a cotejar las relaciones entre la percepción subjetiva de la velocidad entre los diferentes integrantes del cuerpo técnico, identificando la existencia de variaciones significativas en la evaluación del rendimiento de los futbolistas. Este hallazgo destaca la importancia de la comunicación y la colaboración entre los miembros del equipo técnico en la interpretación de los datos y la toma de decisiones relacionadas con el entrenamiento y la preparación física de los deportistas.

Por último, el cuarto objetivo general se enfoca en comprobar las diferencias entre los distintos test de velocidades utilizadas en la práctica deportiva, así como las diferencias individuales entre los

jugadores en los resultados obtenidos en dichos test proporcionado información valiosa sobre la eficacia y la relevancia de los métodos de evaluación utilizados en fútbol.

En cuanto a los objetivos específicos, se plantea una exhaustiva revisión de las técnicas utilizadas en la literatura para obtener la velocidad máxima del jugador, con el fin de identificar enfoques consistentes y mejoras prácticas en esta área. Actualmente el test lineal 40 metros es el más utilizado y eficaz para la obtención de la velocidad máxima del jugador. En esta tesis doctoral proponemos la creación de un test individualizado basado en las características físicas del jugador y a las demandas competitivas que proporcione herramientas más efectivas y específicas para trabajar las velocidades máximas del jugador mediante estímulos competitivos.

4.2. Futuras líneas de investigación

- Unificación de criterios para justificar los umbrales de velocidad y aceleración basados en porcentajes que consideren las características físicas individuales de cada jugador, así como las demandas competitivas.
- Generalizar los datos obtenidos en el Test Promedio individualizados en base a las distancias que el jugador recorre en competición para alcanzar las velocidades máximas.
- Diseño de un programa de entrenamiento con el objetivo de mejorar la velocidad máxima del jugador mediante estímulos basados en el Test Promedio.

4.3. Conclusiones finales

1. No hay consenso en la literatura para justificar los umbrales individuales de velocidad y aceleración.
2. La percepción subjetiva de la velocidad de un jugador por parte del cuerpo técnico puede ser errónea.
3. Los profesionales sanitarios pertenecientes al cuerpo técnico pueden tener una visión menos veraz en contraposición al entrenador para valorar la velocidad subjetiva de la velocidad.
4. La distancia de 40 metros es válida para alcanzar la velocidad máxima en un test.
5. Individualizar en base a la condición física del jugador y a las demandas competitivas es ideal para evaluar la velocidad máxima en un test.
6. El test promedio puede ser una herramienta válida para trabajar y mejorar la velocidad máxima de un jugador mediante la programación del trabajo específico en los entrenamientos.

