



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales

**Contribución a la regulación técnica
de los pavimentos de hierba artificial
para la práctica del pádel a través de
una investigación prenormativa**

Tesis doctoral

Autora: Dña. Mercedes Sanchis Almenara

Directores: Dr. D. Enrique Alcántara Alcover

Dr. D. Pedro Vera Luna

Valencia, diciembre de 2015

TESIS DOCTORAL

**Contribución a la regulación técnica de los
pavimentos de hierba artificial para la práctica
del pádel a través de una investigación
prenormativa**

que para la obtención del grado de

Doctor

presenta

Mercedes Sanchis Almenara

en el

Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales de la
Universitat Politècnica de València

Dirigida por

Dr. Enrique Alcántara Alcover

Dr. Pedro Vera Luna

Valencia, diciembre de 2015

Resumen

Esta tesis se centra en la identificación de las propiedades más relevantes de los pavimentos de césped artificial destinados a la práctica del pádel con el objetivo de contribuir a su regulación técnica (investigación prenormativa).

Dada la relativa escasa tradición de este deporte, que no recibe la consideración de mayoritario, no existen documentos técnicos de referencia que establezcan las propiedades que deben presentar, lo que ha provocado que se fabriquen e instalen superficies de césped artificial sin conocer si sus propiedades son adecuadas desde el punto de vista de la seguridad y el rendimiento de los deportistas.

Con la finalidad de contribuir a resolver los problemas derivados de la falta de regulación técnica, se identificaron los movimientos realizados por los deportistas durante la práctica del pádel que suponen una interacción entre el calzado y el pavimento y una cuantificación de la frecuencia de su realización atendiendo a su posible implicación en el rendimiento y la seguridad de los deportistas. Asimismo, se determinó la frecuencia de realización de los golpes de pelota por parte de los mismos.

Una vez identificados los movimientos y los golpes de pelota más representativos, se revisaron los ensayos normativos que permiten evaluar las propiedades de estos pavimentos y se valoraron diferentes pistas de pádel que contaban con pavimentos de césped artificial.

A partir de los resultados de dichos ensayos y de la valoración subjetiva de los deportistas, se establecieron los valores de referencia de las propiedades identificadas como críticas para la práctica de este deporte: amortiguación de impactos o reducción de fuerzas, fricción o agarre y bote vertical de pelota.

Por último, estos valores de referencia fueron validados a partir de la opinión de los deportistas en dos condiciones: tras disputar un partido de pádel y durante la realización de un circuito controlado que simulaba los movimientos propios más relevantes durante la práctica de este deporte. En ambos casos se llevó a cabo la valoración subjetiva de las propiedades del pavimento y la percepción de seguridad y rendimiento relacionada con su uso. Además, en el

caso del circuito controlado, dado que el calzado utilizado desempeña un papel fundamental en la interacción entre el pavimento y los deportistas, estos realizaron el circuito usando tres modelos de zapatillas que incluían suelas distintas, aunque todas ellas comercializadas como adecuadas para este deporte.

Los resultados obtenidos permitieron la elaboración de una propuesta de norma técnica para regular las propiedades de los pavimentos de césped artificial destinados a la práctica del pádel.

Resum

Esta tesi es centra en la identificació de les propietats més rellevants dels paviments de gespa artificial destinats a la pràctica del pàdel amb l'objectiu de contribuir a la seua regulació tècnica (investigació prenortativa).

Degut a la relativament curta tradició d'aquest esport, que no rep la consideració de majoritari, no existeixen documents tècnics de referència que estableixin les propietats que deuen presentar, el que ha provocat que es fabriquen i instal·len superfícies de gespa artificial sense conèixer si les seues propietats son adequades des del punt de vista de la seguretat i el rendiment dels esportistes.

Amb la finalitat de contribuir a resoldre els problemes derivats de la falta de regulació tècnica, s'identificaren els moviments realitzats pels esportistes durant la pràctica del pàdel que suposen una interacció entre el calcer i el paviment i una quantificació de la freqüència de la seua realització tenint en compte la seua possible implicació en el rendiment i la seguretat dels esportistes. A més a més, es va determinar la freqüència de realització dels cops de pilota per part dels esportistes.

Una vegada identificats els moviments i els cops de pilota més representatius, es revisaren els assajos normatius que permeten avaluar les propietats d'aquests paviments i es valoraren diferents pistes de pàdel que contaven amb paviments de gespa artificial.

A partir dels resultats d'aquests assajos i de la valoració subjectiva dels esportistes, s'establiren els valors de referència de les propietats identificades com crítiques per a la pràctica d'aquest esport: reducció de forces, fricció i bot vertical de pilota.

Finalment, aquests valors de referència varen ser validats a partir de l'opinió dels esportistes en dues condicions: després de jugar un partit de pàdel i durant la execució d'un circuit controlat que simulava els moviments més rellevants durant la pràctica d'aquest esport. Als dos casos es va dur a terme la valoració subjectiva de les propietats del paviment i la percepció de seguretat i rendiment relacionada amb el seu ús. A més a més, en el cas del circuit con-

trolat, donat que el calcer utilitzat té un paper fonamental en la interacció entre el paviment i els esportistes, aquests realitzaren el circuit utilitzant tres models de sabatilles que incloïen soles distintes, encara que totes es comercialitzen com adequades per al pàdel.

Els resultats obtinguts permeteren l'elaboració d'una proposta de norma tècnica per a regular les propietats dels paviments de gespa artificial destinats a la pràctica del pàdel.

Abstract

This Thesis is focused on the identification of the most relevant properties of artificial grass for padel with the aim of carrying out a standardization procedure.

Since padel is not a majority sport, technical documents to establish the properties of surfaces for this sport (mainly artificial turf) do not exist. This has caused that artificial turf installed in padel facilities does not have the most appropriate properties to ensure safety and performance of players, especially if the specific requirements of this sport are taken into account.

The work conducted in this thesis included the identification of the most frequent movements of players during padel matches. Then, their relevance was analyzed considering frequency as well as influence on safety and performance of players.

After the suitable identification described above, the most relevant players' movements were selected. Then, the regulatory framework was reviewed with the aim of identifying the most appropriate tests to evaluate artificial turf surfaces. Following this stage, different artificial turf padel courts were tested according to the standard methods detected.

From the results of these tests and from players' opinions, reference values for relevant properties of padel artificial turf were established. In the investigation, these properties were found to be force reduction, friction and vertical ball rebound.

Finally, these reference values were validated from players' opinions in two different scenarios: on one hand, after playing a padel match and, on the other hand, after going across a controlled circuit including specific padel movements. In both cases, subjective assessment of properties, safety and performance was analysed. Moreover, during controlled circuit test players wore three different models of sport shoes with the aim of identifying the effect of shoes on players' perception and performance.

The results obtained in the Thesis have allowed the development of a technical standard draft to regulate the properties of artificial turf surfaces for padel courts.

A la memoria de mi abuela y mi tía.

A mis padres y mi hermano.

A Paco.

"Si puedes soñarlo, puedes lograrlo"

Walt Disney

Agradecimientos

En primer lugar me gustaría agradecer el apoyo incansable que me han brindado mis directores Quique y Pedro, no solo durante el desarrollo de esta tesis sino también a lo largo de todos mis años en el IBV.

En especial, a Pedro por la confianza depositada en mí y las oportunidades ofrecidas para cumplir mi sueño desde que empecé mis estudios universitarios: trabajar en el IBV. Y a Quique, gracias por tu amistad y tu generosidad; tanto en lo profesional como en lo personal es una suerte tenerte cerca.

En segundo lugar quiero agradecer a mi tutor Vicente Amigó el tiempo dedicado a mi formación durante toda mi estancia como becario en el Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales. Tú iniciaste el trabajo que ha hecho de mí la profesional que hoy soy. Gracias por tu generosidad durante todos esos años y por estar ahí siempre que te necesito.

A mis amigos de siempre por los maravillosos momentos que hemos compartido y los que nos quedan. Y por supuesto a Bea y a Eva por esos “cafelitos” que me dan la vida y que prometo compartir más a menudo a partir de ahora. A los amigos del club de básquet (Susi, Sento, Lucía, Quique, Juanjo y Merxe) que aunque llegasteis más tarde, sois desde hace tiempo una parte importante de mi vida. Y por último a los amigos del IBV, a los que estuvieron y a los que están (es imposible nombrarlos a todos); especialmente a José Serrano y a Laura Magraner, que han sido piezas clave para mí en el IBV desde el primer día.

Mi más sincero agradecimiento también a la familia de Paco por el cariño demostrado durante estos años y por hacerme sentir en casa cada vez que nos encontramos. Y por supuesto a mis abuelos, tíos, primos y cuñados porque sin darse cuenta, cada uno ha puesto su granito de arena para construir la persona que soy.

Por supuesto, agradecer enormemente a mis padres y a mi hermano el apoyo, los abrazos y las palabras de ánimo tanto durante mis estudios como en mi carrera profesional. Sin vosotros todo esto no hubiera sido posible. Gracias por estar ahí SIEMPRE. Y por supuesto agradecer al pequeño Vicente los ratos

de juego que han servido de desconexión en algunos momentos durante esta última etapa de la tesis.

Y por último, y el más importante, deseo expresar mi mayor gratitud a mi amor, mi mejor amigo y mi compañero de viaje. Muchas gracias por tu apoyo incondicional y por sacarme siempre la mejor de mis sonrisas. Has sido desde que te conocí un pilar fundamental en mi vida y gran parte de esta tesis ha sido posible gracias a ti. Juntos somos invencibles. Te quiero mucho Pac.

ÍNDICE

Introducción	1
1.1. Motivación.....	3
Estado del arte	9
2.1. Introducción histórica al pádel.....	11
2.2. Desarrollo del juego del pádel	13
2.3. Lesiones más comunes en la práctica del pádel	15
2.4. La importancia de la interacción calzado-pavimento en la práctica deportiva.....	18
2.5. El pavimento en la práctica del pádel.....	21
2.5.1. Introducción a los pavimentos deportivos.....	21
2.5.2. Importancia de los pavimentos deportivos en el rendimiento y la salud.....	24
2.5.3. El césped artificial.....	27
2.6. El calzado en la práctica del pádel.....	40
2.6.1. Evolución histórica del calzado deportivo	40
2.6.2. Importancia del calzado deportivo en el rendimiento y la salud	42
2.6.3. El calzado deportivo utilizado en la práctica del pádel.....	46
2.7. Marco normativo	48
2.7.1. La normalización técnica en el deporte.....	48
2.7.2. La normalización técnica en los pavimentos deportivos	49
2.7.3. La normalización técnica en el calzado deportivo	58
2.7.4. Proceso de desarrollo de una norma técnica	60
2.8. Conclusiones del análisis del estado del arte.....	62
Objetivos y plan de trabajo.....	63
3.1. Objetivos	65
3.2. Plan de trabajo.....	65
3.3. Organización y desarrollo de la tesis	67
Material y métodos.....	69

4.1.	Introducción.....	71
4.2.	Fase 1. Selección de los ensayos a realizar.....	71
4.2.1.	Diseño metodológico.....	71
4.2.2.	Identificación de los gestos deportivos más relevantes durante la práctica del pádel	72
4.2.3.	Selección de los ensayos a realizar.....	75
4.3.	Fase 2. Identificación de los valores de referencia	77
4.3.1.	Estudio de campo	77
4.3.2.	Tratamiento estadístico de resultados.....	93
4.4.	Fase 3. Validación de los valores de referencia.....	98
4.4.1.	Validación tras partido.....	98
4.4.2.	Validación tras circuito controlado.....	102
4.5.	Fase 4. Desarrollo de una propuesta de norma técnica.....	119
4.5.1.	Función técnica.....	120
4.5.2.	Función deportiva	121
4.5.3.	Anexos.....	121
4.5.4.	Activación del proceso de desarrollo de la norma.....	122
Resultados	123
5.1.	Introducción.....	125
5.2.	Fase 1. Selección de los ensayos a realizar.....	125
5.2.1.	Identificación de los gestos deportivos que implican interacción calzado-pavimento y pelota-pavimento durante la práctica del pádel	125
5.2.2.	Análisis de la relevancia de los gestos atendiendo a su influencia sobre el rendimiento y la salud.....	127
5.2.3.	Selección de los ensayos a realizar.....	130
5.3.	Fase 2. Identificación de los valores de referencia	136
5.3.1.	Análisis de las propiedades de las pistas de pádel	136
5.3.2.	Análisis de la percepción de los deportistas	144
5.3.3.	Identificación de los valores de referencia.....	160

5.3.4.	Valores de referencia identificados.....	177
5.4.	Fase 3. Validación de los valores de referencia	178
5.4.1.	Validación tras partido	178
5.4.2.	Validación tras circuito controlado	194
5.4.3.	Análisis de los valores de referencia.....	221
5.5.	Fase 4. Desarrollo de una propuesta de norma técnica	225
5.5.1.	Función técnica.....	225
5.5.2.	Función deportiva.....	226
5.5.3.	Anexos	227
5.5.4.	Activación del proceso de desarrollo de la norma	228
5.6.	Situación de las pistas evaluadas de acuerdo a los valores de referencia identificados.....	228
Discusión.....		231
6.1.	Aportación global de la tesis.....	233
6.2.	Identificación de los gestos más relevantes durante la práctica del pádel.....	233
6.2.1.	Interacción calzado-pavimento.....	235
6.2.2.	Interacción pelota-pavimento	241
6.3.	Definición del protocolo de evaluación de los pavimentos de césped artificial para pádel.....	243
6.4.	Identificación y validación de los valores de referencia de las propiedades de los pavimentos de césped artificial para pádel.....	249
6.4.1.	Metodología de identificación de los valores de referencia	251
6.4.2.	Metodología de validación de los valores de referencia.....	255
6.4.3.	Valores de referencia identificados	260
6.5.	Situación de las pistas evaluadas tras la validación de los valores de referencia.....	265
6.6.	Desarrollo de la propuesta de norma técnica.....	267
Conclusiones.....		269
7.1.	Conclusiones de los resultados.....	271

7.2. Conclusiones metodológicas	272
7.3. Limitaciones del estudio	273
7.4. Futuras líneas de trabajo	274
Bibliografía.....	277
Anexos.....	307
Anexo I. Encuesta de identificación de los valores de referencia	309
Anexo II. Encuesta de validación de los valores de referencia tras partido	311
Anexo III. Encuesta de validación de los valores de referencia tras circuito controlado	313
Anexo IV. Consentimiento informado	315
Anexo V. Propuesta de norma técnica para la regulación de los pavimentos de césped artificial para pádel	317

Capítulo 1

Introducción

Resumen del capítulo:

En este capítulo se presenta la evolución en la práctica de actividad física de la población española en los últimos años, la cual ha hecho posible la aparición de nuevas disciplinas deportivas como el pádel. Así mismo, se justifica la necesidad de contar con normas técnicas que regulen las propiedades del equipamiento y de las instalaciones utilizadas para la práctica de este deporte.

1.1. Motivación

Como señala la Encuesta Nacional sobre hábitos deportivos realizada en España en 2010 (García Ferrando & Llopis, 2011), en los inicios del siglo XXI se ha hecho cada vez más patente que los procesos de globalización a que estamos sometidos están dando lugar a un nuevo tipo de sociedad (García Ferrando & Villarroya, 2010). Este hecho afecta de forma diferente pero interdependiente a los distintos modelos de deporte: al profesional, espectáculo y de alta competición por un lado; y al deporte para todos, recreativo y saludable por otro (Cagigal, 1975; Olivera, 2010).

Existen pocas dudas acerca de que los espectáculos y grandes eventos deportivos más característicos, como los Juegos Olímpicos y los campeonatos continentales y mundiales de los deportes más populares, se han convertido en uno de los principales motores de la globalización, caracterizando el ritmo de cambio al que están sujetas las sociedades. No obstante, conviene no perder de vista que el deporte contemporáneo, tanto profesional como popular, se actualiza por medio del refuerzo de las identidades deportivas locales (Gomes & Puig, 2009).

En este sentido, en el último siglo el deporte no ha cesado de generar intensos flujos económicos y tecnológicos así como intercambios y eclosiones de emociones y entusiasmo, en buena medida por su capacidad de reforzar las identidades locales y nacionales. Este cambio social se manifiesta tanto en las celebraciones de ámbito internacional como en las competiciones deportivas que enfrentan a deportistas y equipos locales (ciudad o región). Además, no debe olvidarse la influencia del deporte en la salud o el clásico lema *mens sana in corpore sano*, cada vez más interiorizado en los países avanzados.

Algunos autores (Lipovetsky, 1989) han identificado una nueva modalidad de deporte masa orientado al ocio, la salud, el reto, la búsqueda de placer, la relajación y la integración social. Un modelo deportivo en el que aparecen tipologías de actividad física muy variadas que van desde la búsqueda de emociones fuertes, al modelado del cuerpo como producto narcisista.

La aparición de actividades diferentes, para dar respuesta a necesidades tan dispares de las personas desde el punto de vista de la práctica deportiva, ha provocado un enorme crecimiento del mercado relacionado con la práctica de actividad física y deporte. Dicho crecimiento conlleva la dificultad de regular tanto los deportes como los equipamientos que se requieren para la práctica de cada una de las nuevas disciplinas. En este sentido, ha de tenerse en cuenta que para que la actividad física sea saludable deben considerarse el deporte

elegido y la intensidad del mismo (dependiendo de la edad y el estado de forma) así como el uso de un equipamiento apropiado y de unas instalaciones que garanticen la seguridad de los deportistas.

España no es ajena a este fenómeno y el incremento de la práctica deportiva de la población en edades comprendidas entre los 15 y los 75 años ha sido del 10% desde 1990 hasta 2010, pasando del 35% al 45%. Sin embargo, aunque el aumento en la población que practica actividad física ha sido elevado, es, si cabe, más destacable el cambio observado en la frecuencia con la que ésta se lleva a cabo. Así, el porcentaje de personas que practicaban actividad física menos de una o dos veces a la semana ha pasado de un 41% en 1990 a un 6% en 2010, la población que realiza actividad física tres veces o más a la semana ha pasado de un 31% a un 57% y la población que practica actividad física una o dos veces por semana ha crecido desde el 28% hasta el 37% en el mismo periodo (García Ferrando & Llopis, 2011). Este hecho indica un cambio en los hábitos de los españoles en relación con el estilo de vida y la forma de ocupar el tiempo libre.

La modificación de estos hábitos deportivos se ha visto reflejada también en las actividades físico-deportivas más practicadas a nivel nacional, que han experimentado una variación importante. Hasta la encuesta sobre hábitos deportivos de 1995 (García Ferrando, 2004), el listado de actividades deportivas contenía un total de 25 deportes entre los cuales solo aparecían la gimnasia de mantenimiento y la natación recreativa como actividades físico-deportivas no federadas. Fue a partir de esta encuesta cuando comenzó a ampliarse de forma progresiva el listado de deportes con nuevas actividades. La tabla siguiente muestra los cambios que se produjeron en las primeras posiciones de las actividades físico-deportivas más practicadas entre 2005 y 2010 (Tabla 1.1).

Tabla 1.1. Las diez actividades físico-deportivas más practicadas en España en 2005 y 2010 (porcentajes sobre el total de practicantes deportivos) (García Ferrando & Llopis, 2011)

2005	%	2010	%
Natación (recreativa y de competición)	32.6	Gimnasia y actividad física guiadas	34.6
Fútbol (fútbol sala, fútbol 11 y fútbol 7)	26.6	Fútbol (fútbol sala, fútbol 11 y fútbol 7)	24.6
Gimnasia y actividad física guiadas	26.3	Natación (recreativa y de competición)	22.9
Ciclismo (recreativo y de competición)	19.1	Ciclismo (recreativo y de competición)	19.8
Actividad en el medio natural (senderismo, montañismo)	11.9	Carrera a pie (<i>running</i>)	12.9
Carrera a pie (<i>running</i>)	11.1	Actividad en el medio natural (senderismo, montañismo)	8.6
Baloncesto	9.4	Baloncesto	7.7
Tenis	8.9	Tenis	6.9
Atletismo	7.2	Atletismo	6.0
Musculación, culturismo	6.8	Pádel	5.9

Los datos observados en la tabla muestran el aumento de la práctica de gimnasia y actividades físicas guiadas (*aerobic*, *bars training*, *crossfit*, *spinning*, etc., relacionadas principalmente con la tonificación y el modelado del cuerpo) y del *running*, mientras que los deportes clásicos, como el baloncesto, el tenis, la natación, el fútbol y el atletismo, reducen el número de practicantes.

Cabe destacar la aparición de un nuevo deporte dentro de los 10 más practicados a nivel nacional, el pádel, que ha pasado de encontrarse fuera de este listado en 2005 a contar con un 5.9% del total de personas que practican actividad física. De esta manera, en la siguiente tabla, relativa a la evolución de la práctica de las actividades físico-deportivas en España entre 2005 y 2010, se observa que el pádel es, después de la gimnasia y las actividades guiadas, el deporte que ha experimentado un mayor crecimiento en número de personas entre 15 y 75 años que lo practican, pasando del 0.9% en 2005 al 2.6% en 2010 (Tabla 1.2).

Tabla 1.2. Evolución de la práctica de las actividades físico-deportivas en España entre 2005 y 2010 (porcentajes sobre el total de población entre 15 y 75 años) (García Ferrando & Llopis, 2011)

Práctica de actividades físico-deportivas (%)	2005	2010
Gimnasia y actividades físicas dirigidas	10.0	14.5
Fútbol	10.1	10.6
Natación (recreativa y de competición)	12.3	9.6
Ciclismo (recreativo y de competición)	7.2	8.5
Carrera a pie (<i>running</i>)	4.2	5.6
Montañismo	4.5	3.7
Baloncesto	3.6	3.3
Tenis	3.4	3.0
Atletismo	2.7	2.6
Pádel	0.9	2.6
Esquí y deportes de invierno	2.2	1.9
Musculación, culturismo	2.6	1.9
Pesca	1.4	1.3
Artes marciales	0.8	1.0
Tiro y caza	1.2	1.0
Pelota	1.0	0.8
Patinaje y monopatín	0.7	0.8
Voleibol	1.3	0.7
Actividades subacuáticas	0.5	0.7

Este incremento en el volumen de personas que practican esta disciplina ha inducido el crecimiento del número de instalaciones destinadas a este deporte. Según el último censo nacional de instalaciones deportivas (Gallardo, 2007), el número de pistas de pádel en España en 2005 era de 2271, de las cuales la mayoría contaba con pavimentos de césped artificial. Aunque no existe un censo de instalaciones a escala nacional posterior a 2005, las tres comunidades autónomas sobre las que se publicó este censo en 2010, Castilla La Mancha (Consejo Superior de Deportes, 2010a), Extremadura (Consejo Superior de Deportes, 2010b) y País Vasco (Consejo Superior de Deportes, 2010c), aumentaron considerablemente el número de pistas de pádel instaladas. La primera pasó de 66 pistas en 2005 a 614 en 2010, Extremadura de 42 a 247 y el País Vasco de 87 a 275, lo que representa un crecimiento del 930%, 588% y 316%, respectivamente.

Existen diferentes estudios que analizan las razones que han provocado el aumento de la popularidad del pádel, entre las que destacan:

- Se practica entre cuatro jugadores, por lo que fomenta encuentros sociales más potentes en comparación con otros deportes (Kruse, 2003; Wheaton, 2007).
- Tiene una curva de aprendizaje suave (es fácil de aprender en cualquier etapa de la vida) en comparación con otros deportes de raqueta (Brody, 2010). Requiere menos tiempo y esfuerzo para lograr un nivel razonable de juego (Sanderson, 2002).
- Para comenzar a jugar no se precisan grandes recursos económicos, pudiendo adquirir el equipamiento necesario (pelotas, palas y zapatillas) sin necesidad de realizar una inversión elevada (Casper et al., 2007).
- El periodo de tiempo durante el cual la pelota se mantiene en juego es elevado, por lo que permite un mayor disfrute de los deportistas (King, 2010).

Sin embargo, pese a la gran aceptación que ha tenido y el elevado número de personas que lo practican, no se han llevado a cabo estudios sobre la idoneidad del equipamiento que se utiliza, aunque existen evidencias que indican que el 50% de los practicantes han sufrido alguna lesión (López-Roza, 2013).

Según un estudio epidemiológico centrado en la práctica del pádel, en el que se encuestó a 400 jugadores (Navarro, 2013), del total de las lesiones sufridas por los jugadores entrevistados, el 56.5% correspondían a lesiones que afectaron a los miembros inferiores (20% a los tobillos-pies, 15% a las rodillas, 14% a las piernas y 7.5% a los muslos), el 31% de las lesiones se localizaron en los miembros superiores (12% en los hombros, 9% en los codos, 7.5% en las muñecas-manos, 1.5% en los antebrazos y 1% en los brazos), el 10% en el tronco/abdomen/caderas y el 2.5% en la cabeza-cuello. Sin embargo, dicho estudio no analizó las posibles causas que explicarían el mayor número de lesiones en los miembros inferiores con respecto a las sufridas en los miembros superiores.

En el caso del tenis, deporte a priori más próximo al pádel, se ha detectado la misma tendencia siendo la incidencia de lesiones en los miembros inferiores mayor que en los superiores (Pluim et al., 2006). A este respecto, se ha identificado la interacción entre el calzado y el pavimento como una de las claves a considerar para garantizar la salud de los deportistas (Schrier et al., 2014).

Por otro lado, se considera que la citada interacción tiene efecto sobre el rendimiento. En esta línea, por ejemplo, se ha demostrado que una absorción de impactos demasiado alta provoca una reducción del mismo durante la carrera o el salto (Lejeune et al., 1998; Zamparo et al., 1992). Sin embargo, la interacción entre el calzado y la superficie de juego debe aportar una capacidad de amortiguación suficiente para reducir los niveles de impacto a los que el sistema musculoesquelético de los deportistas es sometido. En relación con esta

cuestión, existe una opinión generalizada de que la protección contra lesiones y el rendimiento son contrarios (Lejeune et al., 1998; Zamparo et al., 1992).

Todo esto ha promovido un gran número de estudios en relación con otras disciplinas deportivas para identificar la relación óptima entre rendimiento y salud desde el punto de vista de la interacción calzado-pavimento, avanzando tanto en las propiedades con que debe contar la superficie de juego (y el desarrollo de la normativa que regule las mismas) como en las características que debe presentar la suela del calzado utilizado en la práctica de este deporte. Como consecuencia, se han desarrollado normas técnicas que regulan las propiedades de los pavimentos deportivos atendiendo al deporte que sobre ellos se va a desarrollar y, en la mayoría de los casos, se ha avanzado en el establecimiento de las características que han de poseer las zapatillas para la práctica de cada disciplina deportiva.

Sin embargo, en el caso del pádel no se han realizado estudios que analicen la interacción entre el calzado y el pavimento con el propósito de identificar las propiedades que debe presentar la superficie de juego y el calzado para garantizar la seguridad y el rendimiento de los deportistas. Como consecuencia, no existe un marco normativo que regule qué propiedades deben evaluarse y en qué rangos deben encontrarse, ni referencias en relación a cómo las características del calzado afectan a su interacción con el pavimento.

Capítulo 2

Estado del arte

Resumen del capítulo:

En este capítulo se presentan las bases del juego del pádel y la evolución experimentada por este deporte desde sus orígenes. Se revisa la literatura existente sobre las lesiones deportivas, haciendo especial hincapié en las relacionadas con el tenis (dada la escasa existencia de estudios epidemiológicos centrados en el pádel y la similitud entre ambos deportes). Se señala la importancia de la interacción entre el calzado y el pavimento desde el punto de vista de la seguridad y el rendimiento de los deportistas, y se describe la evolución histórica de las superficies deportivas y del calzado para lograr la interacción óptima. Finalmente se presenta el marco normativo desarrollado para la regulación de los pavimentos y el calzado deportivo.

2.1. Introducción histórica al pádel

Los orígenes del pádel sitúan sus raíces a finales del siglo XIX en unos juegos adaptados a los barcos ingleses que se organizaban para entretener al pasaje. Posteriormente, en 1924, un norteamericano introdujo este deporte en los parques municipales de la ciudad de Nueva York donde era conocido con el nombre de *paddle tennis* (tenis pala) por la pala que se utilizaba para practicarlo (Figura 2.1).

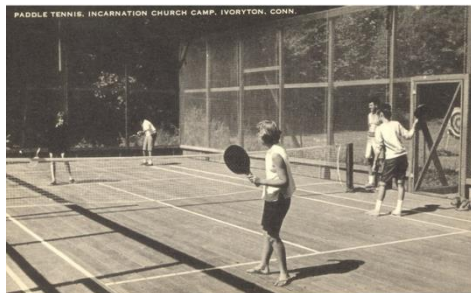


Figura 2.1. Estructura inicial de una pista de pádel.

Durante los años siguientes, se incluyeron algunas modificaciones a este juego con el fin de permitir su práctica durante los meses de invierno, cerrándose el perímetro de la pista con una valla metálica para evitar que las pelotas se saliesen de la pista y cayeran sobre la nieve. Del mismo modo, comenzó a practicarse por parejas y sobre pistas de madera con el fin de reducir las irregularidades del terreno, conociéndose esta modalidad como *platformtennis* ("Historia y Origen del Pádel", n.d.).

Hacia el año 1970 un conocido empresario mejicano llamado Enrique Corcuera, tomando como base el *platformtennis*, efectuó una serie de modificaciones en un frontón de su propiedad en Acapulco. Instaló una red en medio de la pista y construyó una pared al fondo de 3 metros de altura. Mediante una malla metálica cerró el perímetro de la pista, creando lo que se considera el antecedente más próximo al actual juego del pádel (Martínez, 2013).

En pocos años comenzaron a construirse pistas de pádel en Argentina ("Historia del Pádel. De México a España," n.d.) y en la actualidad se ha convertido en el segundo deporte más practicado en ese país (con más de dos millones de jugadores y más de diez mil pistas construidas).

Desde Argentina se extendió a otros países de Latinoamérica, América del Norte y Canadá ("Historia y Origen del Pádel," n.d.). En 1982 se realizaron las primeras competiciones internacionales en Uruguay y en 1995 fue incorporado como deporte de exhibición en los Juegos Panamericanos de Mar del Plata, Argentina.

La expansión del pádel en España y el rápido aumento de personas que lo practicaban se produjo en los años 90. Pero es a partir de ciertos apoyos insti-

tucionales cuando el pádel empezó a tener gran relevancia a escala nacional (Historia del Pádel. De México a España, n.d.):

- En 1991 se constituyó en Madrid la Federación Internacional de Pádel, se creó un circuito de encuentros internacionales y se desarrolló un reglamento de juego internacional.
- A nivel regional, en enero de 1992 se fundó la Agrupación Madrileña de Pádel, hoy en día inscrita en el Registro de Asociaciones Deportivas de la Dirección General de Deportes de la Comunidad de Madrid. Pero no fue ésta la única comunidad autónoma donde surgieron iniciativas de este tipo: en Cataluña, País Vasco, Galicia, Comunidad Valenciana, Andalucía y Extremadura existen Agrupaciones Territoriales.
- En 1993, el pádel dio un paso decisivo para su consolidación: el Consejo Superior de Deportes (CSD) acordó su reconocimiento como modalidad deportiva. Un año después se constituyó la Agrupación Española de Pádel, inscrita en el Registro de Agrupaciones Deportivas del CSD.
- Desde 1993 se celebran los Campeonatos Internacionales de España con la presencia de los mejores jugadores del mundo. Este torneo se convirtió en el más importante a escala internacional, tanto por su calidad como por la cuantía de los premios y se celebró durante 12 años.
- En 2005 nació el Circuito Profesional de pádel y se denominó durante 7 años *Padel Pro Tour*, hasta que en 2013 los jugadores firmaron contratos con los nuevos organizadores pasando a denominarse *WorldPadel Tour* y a convertirse en el nuevo circuito profesional de este deporte. Actualmente sigue siendo la competición más importante que se desarrolla en este deporte.
- A nivel amateur, como se ha comentado en el capítulo anterior, el pádel ha sido el deporte que ha experimentado un mayor incremento en el número de practicantes en España (han pasado de practicarlo el 0.9% de la población con edades comprendidas entre los 15 y los 75 años en 2005 al 2.6% en 2010), con el incremento de instalaciones que ello ha requerido.

En la actualidad se ha extendido a diferentes países europeos como Francia, Portugal, Italia, Bélgica, Gran Bretaña y Austria, donde se han constituido las respectivas federaciones y se ha producido el consiguiente crecimiento en el número de federados y la construcción de instalaciones para su práctica (DeutscherPadelVerband, n.d., Federação Portuguesa de Padel, n.d., Fédération Française de Padel, n.d., Federazione Italiana Gioco Paddle, n.d., PadelEnglandAssociation, n.d.).

2.2. Desarrollo del juego del pádel

El pádel se juega en parejas y requiere de tres materiales fundamentales: la pelota, la pala y la pista. Posee reglas definidas que se especifican en el reglamento de juego de la Federación Internacional de Pádel (FIP) (Reglamento de Juego de la Federación Internacional de Pádel, 2010).

El área de juego es un rectángulo de 10 m de ancho por 20 m de largo, dividido por una red suspendida por un cable metálico y colocada a una altura en su centro de 0.88 m, elevándose en sus extremos hasta una altura máxima de 0.92 m.

Cada set está integrado por juegos, alternándose en el saque las parejas y los miembros de cada una de ellas. El método de puntuación de cada juego es el mismo que el del tenis: cuando una pareja gana su primer punto, su puntuación es 15, cuando gana dos puntos 30 y cuando gana 3 puntos 40. Siempre se nombra en primer lugar la puntuación de los que sacan. Cuando ambas parejas empatan a 40 se dice que hay *deuce* o iguales. El primer equipo que gana un punto después de iguales logra una ventaja y, en caso de ganar el siguiente punto, gana el juego. Si no lo consigue, se vuelve a iguales hasta que una pareja logra una diferencia de dos puntos a su favor.

Un partido de pádel se juega al mejor de tres sets de seis juegos cada uno. La pareja que primero gana seis juegos con una diferencia mínima de dos respecto a su rival es la ganadora del set. En el caso de empate a un set, y siempre que se haya establecido así previamente, ganará el tercer set la pareja que consiga dos juegos de ventaja respecto a su rival. No obstante, la regla general es que si cada pareja se apunta uno de los dos sets jugados, se aplicará en el tercero la regla del desempate denominada *tie break*.

Esta regla se aplica también cuando se produce un empate a seis juegos en cualquier de los sets que conforman la partida. En este caso la cuenta de los puntos no sigue el sistema habitual (15-30-40) sino que aplica números correlativos empezando desde el uno (uno-cero, dos-cero, dos-uno, etc.). Este desempate lo gana la primera pareja que llegue a siete puntos con una diferencia de dos a su favor respecto a su rival. Si al llegar a siete puntos no se ha conseguido dicha diferencia, se continúa jugando hasta que se alcance.

Las parejas cambian de campo cuando la suma de los juegos de cada set es número impar. En el *tie break* éste cambio se produce cada seis puntos. La posición que suelen ocupar los jugadores en la pista es de ataque o de defensa (Sánchez-Alcaraz, 2013):

- En la posición de defensa (puntos rojos-cruz blanca, Figura 2.2), los jugadores se colocan en el fondo de la pista, entre la línea de servicio y la pared de fondo, cerca de la pared lateral, de forma que el centro queda libre. Esta posición permite poder golpear con más facilidad las pelotas que tengan un rebote en la doble pared.
- En la posición de ataque (puntos azules-línea vertical blanca, Figura 2.2), los jugadores se colocan dos metros aproximadamente por detrás de la red. La premisa principal del pádel es permanecer en la zona de ataque el mayor tiempo posible, debido a que resulta más sencillo ganar un punto en esta zona que en la zona defensiva.

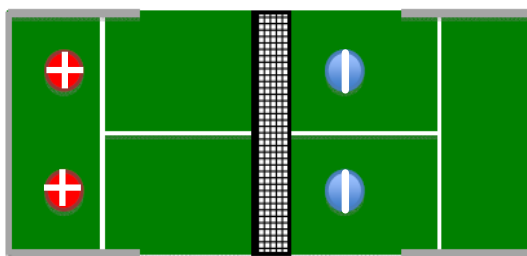


Figura 2.2. . Posición defensiva (puntos rojos-cruz blanca) y posición ofensiva (puntos azules-línea vertical blanca) durante el juego del pádel.

En lo que atañe a la intensidad del juego, se aproxima a la experimentada en la práctica del tenis individual en cuanto a consumo de oxígeno se refiere (VO_2 tanto máximo como relativo) (Corrales et al., 2008), aunque las exigencias reales de la práctica de ambos deportes son diferentes. Esto es debido, según afirman los autores del estudio, a una menor distancia recorrida por los jugadores de pádel en sus acciones, un aspecto que puede compensarse con un mayor número de acciones con respecto al tenis individual.

Finalmente, en lo que se refiere a los golpes más utilizados por los jugadores de pádel, se distingue entre directos e indirectos (González-Carvajal, 2005), siendo los golpes directos aquellos en los que la pelota pasa al campo contrario sin contactar la pared y los indirectos aquellos en los que la pelota golpea la pared antes de pasar al campo contrario. En el desarrollo del pádel predominan los golpes directos sobre los indirectos y la volea es el golpe más utilizado (Corrales et al., 2008). Sin embargo, un recurso muy utilizado y que distingue a este deporte del tenis es el globo (Lasaga, 2011) que se utiliza para superar a los rivales cuando se encuentran en la zona de ataque. Este golpe se realiza desde la posición de defensa y presenta ventajas como controlar el

ritmo de juego, desgastar al rival física y psicológicamente, ganar tiempo para volver a la posición de ataque o cambiar la velocidad de juego del partido (Castellote, 2005).

2.3. Lesiones más comunes en la práctica del pádel

La experiencia y el nivel de dominio técnico de un deporte suponen un factor importante desde el punto de vista del riesgo de lesión. Existen lesiones asociadas a la realización de movimientos repetitivos y el riesgo de sufrirlas es mayor en la etapa de aprendizaje (Giles, 2011). Normalmente existe una relación entre la calidad técnica y el tiempo dedicado a la práctica de un deporte: cuanto mayor calidad técnica se posee, mayor es el número de horas dedicado, principalmente porque habitualmente se dedica tiempo tanto a sesiones de entrenamiento como a competición. Sin embargo, se ha apreciado una evolución en el aumento del número de horas dedicadas a la práctica de diferentes disciplinas deportivas por parte de personas sin una calidad técnica elevada. En este sentido, la relación entre el número de lesiones y el tiempo dedicado tanto a su práctica, ya sea como ocio, entrenamiento o competición, no está estudiada a fondo (Caine et al., 2009).

Existe un gran número de estudios epidemiológicos sobre deportes como el fútbol, el baloncesto, la carrera y el tenis (ver apartados 2.4). En el caso del pádel, dada su relativa “juventud” como deporte regulado y el relativo desconocimiento del mismo a nivel mundial (aunque como ya se ha comentado el número de jugadores y de federaciones está aumentando considerablemente), los estudios relacionados con las lesiones sufridas durante su práctica son escasos.

Según algunos autores (López-Roza, 2013), el aumento exponencial de personas que practican el pádel y su fácil accesibilidad ha favorecido que numerosas personas se hayan iniciado en la práctica de este deporte sin la supervisión de profesionales, practicándolo asiduamente en muchos casos en un bajo estado de forma, con una técnica incorrecta o utilizando un equipamiento inadecuado; según el estudio realizado por el autor, más de un 50% de los jugadores entrevistados afirma haber sufrido alguna lesión practicando este deporte. Esta incidencia de lesiones es similar a la encontrada en el tenis no profesional, que se sitúa en alrededor del 52% según diferentes estudios (Baxter-Jones et al., 1993; Jayanthi et al., 2005). Sin embargo, la incidencia en este deporte disminuye hasta el 9.9% cuando el estudio se lleva a cabo sobre jugadores semiprofesionales y profesionales (Hutchinson et al., 1995).

A este respecto, aunque las lesiones no pueden evitarse totalmente, dado el riesgo que conlleva la propia actividad deportiva, sí es posible disminuir el riesgo (prevención) o que su evolución sea lo más favorable posible para lograr una rápida reincorporación a la actividad deportiva (recuperación funcional/readaptación física) (Martínez, 2008). En este sentido, conocer cuáles son los factores que influyen en la incidencia de lesiones y comprender por qué se producen han sido las motivaciones de gran número de investigaciones en otros deportes como la carrera, el fútbol, el tenis o el baloncesto (Bahr & Holme, 2003; Bahr & Krosshaug, 2005; Boling et al., 2010; Knowles et al., 2006; van Mechelen et al., 1992). Sin embargo, en el caso del pádel no se han llevado a cabo estudios que relacionen las lesiones sufridas por los deportistas con sus posibles causas, posiblemente por la novedad de este deporte y porque hasta el momento su expansión no ha sido a nivel mundial.

Las evidencias mostradas por los estudios realizados hasta la fecha permiten identificar una serie de factores relacionados con el riesgo del deportista a sufrir una lesión. Dichos factores se pueden clasificar en intrínsecos (aquellos relacionados con el propio deportista) y extrínsecos (factores externos y ajenos al deportista), aunque evidentemente se entiende que durante la práctica deportiva ambos factores pueden afectar de manera compleja e interactiva (Meeuwisse, 1994; Murphy et al., 2003; van Mechelen et al., 1992). Esta clasificación ha sido estudiada por numerosos autores (Hanson et al., 1992; Heil, 1993; van Mechelen et al., 1992), destacando entre los factores intrínsecos aquellas características propias del deportista como las fisiológicas, biomecánicas, psicológicas, edad, deterioro del cuerpo, historial de lesiones, estado de forma, alimentación, fatiga, sobre-entrenamiento, conductas de riesgo, etc.; y entre los factores extrínsecos las deficiencias en las instalaciones, el tipo y el estado de los pavimentos deportivos, la temperatura ambiente, la intensidad del juego, etc.

Entre los factores psicológicos, uno de los aspectos más estudiados ha sido la percepción que los deportistas tienen sobre las causas que les pueden provocar lesiones deportivas con el objetivo de proporcionar las conductas de control para afrontar aquellos factores que ellos consideran importantes. Para ello se utiliza el *Cuestionario acerca de la percepción sobre la importancia de factores externos e internos de las lesiones* (Olmedilla et al., 2004; Zafra et al., 2009; Zafra et al., 2007) que se compone de 28 ítems estructurados en cuatro subescalas: factores relativos al comportamiento de los otros (acciones fortuitas que provocan contacto entre jugadores), factor psicológico (falta de atención o de concentración), factor deportivo (sobrecarga, fatiga) y factor relativo a la exigencia deportiva (en competición principalmente).

En un estudio realizado utilizando este cuestionario sobre 58 jugadores de pádel (Sánchez-Alcaraz & de Prado, 2014) se identificaron los factores deportivos y de exigencia deportiva como los más importantes para los jugadores, siendo los factores psicológicos los menos valorados como causa de lesión.

En lo que a estudios epidemiológicos en pádel se refiere, solamente se ha encontrado uno llevado a cabo en España sobre 400 jugadores (Navarro, 2013) que analiza aspectos relacionados con el propio deportista, con las condiciones específicas de la lesión, el tratamiento necesario y las secuelas derivadas. El 79.5% de los jugadores afirmaron que en el momento de la lesión estaban jugando al pádel por ocio; un 11% estaba entrenando para una competición y solamente el 8.5% de los encuestados estaba compitiendo. La mayoría de los jugadores que habían sufrido alguna lesión (51%) practicaban pádel de 2 a 3 veces a la semana, seguidos de los que practicaban al menos una vez a la semana (35.5%) y más de tres veces a la semana (10%). En cuanto al tipo de lesión sufrida, el 56.5% de los jugadores había sufrido lesiones en el miembro inferior (muslo, rodilla, pierna o tobillo-pie) y el 43.5% restante había sufrido alguna lesión en el resto del cuerpo (muñeca-mano, antebrazo, codo, brazo, hombro, cabeza-cuello o tronco-abdomen-cadera). Entre las lesiones más frecuentes se identificaron esguinces de tobillo (17% del total de las lesiones recogidas) y contracturas musculares (14.5%) seguidas de epicondilitis y roturas de gemelo (8.5% ambas), tendinitis tanto de manguitos de rotadores del hombro (7%) como de rodillas (6%) y lumbalgias (5.5%). Cuando se les preguntó sobre la posible causa que les habría provocado la lesión, el 43.7% de los jugadores refirió que se debió a que acarrea problemas físicos, seguida por el descuido y la imprudencia (14% en ambos casos). Se argumentaron además como motivos de sus lesiones las deficiencias en las instalaciones (7%) y el contacto con otros deportistas (7%), así como la falta de información sobre la correcta ejecución de ciertos gestos deportivos (1.5%). Finalmente, cuando se les preguntó sobre el tipo de pavimento sobre el que estaban jugando cuando sufrieron la lesión, el 57.5% contestó que sobre moqueta y el 39% sobre césped artificial (el 3% restante lo estaba haciendo sobre asfalto, tierra o hierba).

La localización de las lesiones identificadas en este estudio (principalmente en miembro inferior) sugiere, en consonancia con los estudios publicados sobre otros deportes, una importante influencia de la interacción entre el calzado y el pavimento, que está directamente relacionada con las fuerzas a las que se someten las diferentes partes del miembro inferior y que influirán tanto en el riesgo de lesión de los jugadores como en su rendimiento. Sin embargo, este aspecto no es analizado en el estudio epidemiológico citado.

2.4. La importancia de la interacción calzado-pavimento en la práctica deportiva

Existe un gran número de estudios que relacionan la interacción entre el calzado y el pavimento con el riesgo de sufrir diferentes tipos de lesiones. El análisis de este efecto se ha realizado desde dos perspectivas diferentes: la interacción vertical entre el calzado y el pavimento (en la que entran en juego propiedades como la capacidad de absorción de impactos, de deformación vertical y de retorno de energía (tanto del calzado como del pavimento) y la interacción horizontal (en la que la propiedad en juego es el agarre o tracción entre la suela del calzado y el pavimento deportivo).

La **absorción de impactos** es la capacidad de un material, sistema o mecanismo de disminuir el efecto de las fuerzas de impacto por medio de la absorción y disipación de la energía. En el caso del deporte se denomina absorción de impactos a la capacidad tanto de los pavimentos como del calzado de reducir las fuerzas de impacto provocadas por el deportista al correr o saltar y que se transmiten a través de la cadena músculoesquelética, pudiendo tener un efecto diferente dependiendo del nivel de carga. Por un lado, estas cargas son necesarias para mantener saludables los cartílagos, huesos y músculos (Costill et al., 1979; Forwood & Burr, 1993; Korver et al., 1992; Stone, 1988). Sin embargo, niveles de impacto elevados pueden generar lesiones graves como roturas óseas (Hoerberigs, 1992; Jones, 1983; Macera, 1992) o incluso problemas de artritis (Radin et al., 1972; Radin et al., 1973).

Desde el punto de vista del rendimiento deportivo, una absorción de impactos demasiado alta provocará una reducción del mismo durante la carrera o el salto. En relación con esta cuestión, existe una opinión generalizada de que la protección contra lesiones y el rendimiento son contrarios (Lejeune et al., 1998; Zamparo et al., 1992). Los estudios relacionados han trabajado sobre la evaluación de las fuerzas de impacto en corredores, utilizando superficies y calzado con diferentes propiedades. Ha quedado demostrado que el cuerpo humano cuenta con mecanismos naturales para amortiguar los impactos debidos a la carrera, pero no siempre son suficientes, además de que estas adaptaciones provocan un aumento de la fatiga del deportista (Bobbert et al., 1992; Clarke et al., 1982; Dixon et al., 2000). Además, aumenta la velocidad de flexión de rodilla cuando los niveles de absorción de impactos son menores (Frederick et al., 1983; Wright et al., 1998), así como el ángulo de flexión de la misma (Bobbert et al., 1992; De Wit & De Clercq, 1997) incrementando el coste energético del movimiento y por tanto la fatiga (Frederick et al., 1983). Según diversos estudios es posible encontrar un óptimo nivel de amortiguación

de impactos compromiso entre la salud y el rendimiento (McMahon & Greene, 1979) que debe ser aportado por la combinación entre el calzado y el pavimento. Por tanto, atendiendo a las características del pavimento y del deporte practicado, será necesaria la utilización de calzado con mayor o menor capacidad de reducción de las fuerzas de impacto. Por ejemplo, en el caso del baloncesto, en el que son habituales los saltos y se practica sobre pavimentos que no cuentan con una elevada capacidad de amortiguación de impactos (excepto el caso del parquet), se requiere de un calzado con una capacidad de amortiguación elevada.

Desde otra perspectiva, debe tenerse en cuenta que un material tiende a almacenar energía internamente al ser deformado por una carga externa. Puesto que esta energía está relacionada con las deformaciones del material, recibe el nombre de energía de **deformación** unitaria (Hibbeler, 2006). Si bien es cierto que la deformación percibida por el deportista será la combinación de la provocada tanto sobre el pavimento como sobre el calzado, este aspecto se ha estudiado de forma independiente en cada uno de los elementos (calzado y pavimento) en diferentes deportes. Ello es debido a que, si bien la deformación es imprescindible como mecanismo de reducción de fuerzas de impacto, el objetivo tanto en el caso de los pavimentos como del calzado es reducirla al máximo para evitar inestabilidades del miembro inferior durante la práctica deportiva.

Por otro lado, todo gesto deportivo realizado por los deportistas supone un gasto energético. Si parte de la **energía** aportada al sistema es devuelta por el pavimento y/o el calzado, su rendimiento puede ser mayor con el mismo coste energético para el deportista. En este sentido, cuando los deportistas contactan con el pavimento se produce una transferencia de energía a través del pie y el calzado hasta la superficie. Al iniciar el cese del contacto entre el pavimento y el calzado, parte de esta energía retorna al deportista. La cantidad de energía devuelta será la diferencia entre la aportada por el deportista y la perdida (en deformar el pavimento y la suela del calzado, por ejemplo) (Stefanyshyn & Nigg, 2003). Diferentes estudios han demostrado que un mayor retorno de energía del calzado y el pavimento tiene como consecuencia una reducción del consumo de oxígeno de los deportistas y un aumento del rendimiento (Baroud et al., 1999; Schrier et al., 2014; Stefanyshyn & Nigg, 2000).

Finalmente, desde el punto de vista de la interacción horizontal entre el calzado y el pavimento, el aspecto clave es la **tracción** o **agarre**. Se denomina agarre o tracción en el ámbito deportivo a la respuesta de la interacción entre el pavimento y el calzado frente a una fuerza horizontal aplicada por un depor-

tista en la ejecución de gestos deportivos como cambios de sentido, cambios de dirección, paradas o inicio del desplazamiento.

La combinación ideal de superficie y calzado es aquella que permite un agarre adecuado para la realización segura de los gestos deportivos con un rendimiento adecuado. En este sentido, una respuesta del pavimento tanto en defecto como en exceso puede ser peligrosa para el deportista. Diferentes estudios afirman que es necesario contar con un agarre mínimo para evitar caídas y poder realizar los gestos deportivos y, al mismo tiempo, no debe ser excesivo para evitar bloqueos del pie que podrían desembocar en lesiones (Kaila, 2007; Nigg, 2013; Pluim et al., 2006; Schrier et al., 2014; Torg et al., 1974).

En el ámbito del deporte, se distingue entre tracción rotacional y tracción lineal (Heidt et al., 1996), dependiendo del modo en el que se produzca la interacción entre el calzado y el pavimento. La **tracción rotacional** se corresponde con el momento torsor que se produce debido al agarre entre el calzado y el pavimento y la fuerza ejercida por el jugador al realizar un giro teniendo como punto de apoyo la zona de contacto entre la suela de la zapatilla y la superficie de juego (Livesay et al., 2006). La **tracción lineal** se corresponde con la fuerza de resistencia provocada por la interacción entre el calzado y el pavimento durante una parada lateral o frontal o inicio del movimiento en línea recta (Cawley et al., 2003). El mecanismo de lesión es diferente en ambos casos. Las lesiones debido a una excesiva tracción rotacional se producen principalmente en deportes como el fútbol y/o el rugby, en los que los deportistas utilizan calzado con tacos. En este sentido existe un gran número de estudios que relacionan la tipología o el material de los tacos de las botas de fútbol con la incidencia de las lesiones de los jugadores, principalmente del ligamento cruzado anterior de la rodilla (Gehring et al., 2008; Taylor et al., 2012; Torg et al., 1974). Las lesiones debidas a una excesiva tracción lineal se producen principalmente en tenis debido a un bloqueo del pie en situaciones en las que el deportista esperaba deslizar. La lesión más frecuente en estos casos es el esguince de tobillo (Pluim et al., 2006).

A partir de lo anterior y a modo de resumen cabe destacar que una interacción calzado-pavimento óptima en todos los aspectos nombrados posibilitará alcanzar la mayor protección y el máximo rendimiento del deportista durante la práctica de cualquier disciplina deportiva. Por tanto, es de gran importancia analizar en profundidad las claves de esta interacción atendiendo a cada deporte.

Sin embargo, la variedad de tipologías de calzado y pavimentos existentes en el mercado es amplia y no siempre se tienen en cuenta los aspectos menciona-

dos durante el proceso de diseño y fabricación de los mismos. Además, ha de considerarse que el calzado es un elemento sobre el que el deportista tiene capacidad de decisión de compra, de lo que se desprende que es necesario que los fabricantes dispongan de criterios de diseño para reducir el riesgo de lesión y aumentar el rendimiento de sus clientes. En lo que a las superficies deportivas se refiere la situación es diferente ya que, además de trabajar en la definición de las propiedades óptimas atendiendo a diferentes disciplinas, es posible generar normativas que regulen y garanticen la homogeneidad en el comportamiento de pavimentos destinados a la práctica de un mismo deporte.

Por tanto, desde el punto de vista de la interacción entre calzado y pavimento, en el caso del pádel se debe avanzar tanto en la identificación de las propiedades óptimas de los pavimentos utilizados para su práctica y posterior regularización, como en la definición de los criterios de diseño del calzado óptimo desde el punto de vista de los requerimientos propios de este deporte.

2.5. El pavimento en la práctica del pádel

2.5.1. Introducción a los pavimentos deportivos

Las propiedades de los pavimentos deportivos son clave tanto desde el punto de vista del rendimiento como de la reducción de lesiones durante la práctica deportiva. En este sentido, el objetivo de este apartado es desarrollar una introducción a los pavimentos deportivos en general destacando su importancia, para posteriormente centrarse en el césped artificial como pavimento más utilizado en el pádel.

Para que un pavimento sea considerado adecuado para la práctica deportiva debe favorecer la reducción de lesiones, prolongar la vida deportiva de los usuarios y favorecer la evolución técnica y la espectacularidad del deporte que se practique en él.

Existen diferentes criterios de clasificación de los pavimentos deportivos dependiendo del uso, la ubicación, la respuesta frente a cargas o los materiales que los componen. Según el tipo de **uso**, se pueden clasificar en (Pérez & Llana, 2015):

- **Multiuso:** permiten la práctica de distintas disciplinas deportivas.
- **Específicos:** son utilizados para el desarrollo de una única disciplina deportiva y son fácilmente distinguibles porque presentan las líneas reglamentarias solamente del deporte que en ellos se practica.

En cuanto a su **ubicación**, se puede distinguir entre pavimentos deportivos de (Pérez & Llana, 2015):

- Interior (**indoor**): se encuentran en un espacio cerrado protegido de los agentes meteorológicos.
- Exterior (**outdoor**): se encuentran a la intemperie expuestos a las condiciones ambientales.

Otra forma de clasificar los pavimentos deportivos es teniendo en cuenta la **respuesta** de los mismos frente a las **cargas** aplicadas. Se puede distinguir entre (Pérez & Llana, 2015):

- **Puntoelásticos**: cuando se aplica una carga sobre ellos sufren deformación únicamente en el punto de aplicación de la misma. Es, por ejemplo, el caso del césped artificial o el césped natural.
- **Areaelásticos**: al aplicar una carga sobre este tipo de pavimentos la zona deformada es amplia alrededor del punto de aplicación. Es el caso de los pavimentos de madera (parquet).
- **Mixtos**: cuentan con unas primeras capas de materiales con comportamiento puntoelástico (polímeros) y una capa superficial formada por materiales con comportamiento areaelástico (madera). Es el caso de algunos pavimentos *indoor*.

Por último, los pavimentos deportivos pueden ser clasificados dependiendo del **sistema de construcción** y de los **materiales** que los componen, que condicionarán tanto su comportamiento como su ubicación y, por tanto, el deporte al que se destinen (Pérez & Llana, 2015):

- **Parquets**: están constituidos normalmente por un sistema con estructura de rastreles o tableros sobre los que se coloca la tarima de madera. Una estructura muy habitual es la formada por un tablero doble con apoyos elásticos con el fin de otorgar al sistema mejores propiedades desde el punto de vista biomecánico. El comportamiento de este tipo de pavimentos es areaelástico, su ubicación suele ser interior y se usa con frecuencia para practicar deportes como el baloncesto, el balonmano o el voleibol.
- **Sintéticos**: suelen estar formados por una base de alfombra de caucho y una capa de terminación de poliuretano con una determinada resistencia mecánica. Son totalmente continuos y su comportamiento es puntoelástico. Se suelen utilizar en pistas polideportivas de interior para deportes como el balonmano, el fútbol sala o el baloncesto.
- **Pistas de atletismo**: se construyen en diferentes capas; normalmente varias capas inferiores formadas por una mezcla de granulado elástico y po-

liuretano (que actúa como ligante) y una capa superior que otorga al pavimento la resistencia al uso y a los agentes atmosféricos, así como el aspecto final. Su comportamiento es puntoelástico y se suelen construir en exterior. Su utilización más frecuente es para la práctica del atletismo.

- **Césped artificial:** este pavimento deportivo ha sufrido una enorme evolución desde sus inicios alrededor de 1970. Las superficies de césped artificial están compuestas por una “alfombra” con fibras de color verde (que le otorgan un aspecto similar al césped natural) y un material de relleno que varía dependiendo de la disciplina deportiva al que esté destinado. Presentan un comportamiento puntoelástico y se instalan tanto en interior como en exterior. La descripción de este tipo de pavimentos es ampliamente abordada en el apartado 2.5.3 de esta tesis. Se utiliza para la práctica del fútbol, el rugby, el hockey, el tenis, el fútbol americano, el béisbol y el pádel.
- **Césped natural:** está formada por una base de tierra sobre la que se coloca un tepe (alfombra de césped natural). El crecimiento de las raíces de la planta hace que el tepe se agarre a la base, de forma que no se mueva durante el desarrollo del juego. Presenta un comportamiento puntoelástico y su ubicación es exterior. Se utiliza principalmente para la práctica del fútbol, el rugby, el fútbol americano, el béisbol y el tenis.
- **Césped híbrido:** consiste en la instalación sobre el césped natural de fibras de césped artificial. El objetivo es lograr que las raíces de la hierba natural crezcan alrededor de las fibras artificiales, aumentando así la resistencia de la capa superficial del césped. Se instala en campos *outdoor* destinados a la práctica del fútbol, el rugby o el fútbol americano.
- **Tierra batida:** se denomina también polvo de ladrillo. Está fabricada de esquistos, piedra y arcilla y su comportamiento se clasifica como puntoelástico. Se puede colocar tanto en interior como en exterior y se utiliza únicamente para la práctica del tenis.

Dada la importancia de las propiedades de los pavimentos deportivos en el rendimiento y la salud de los deportistas, es imprescindible definir las propiedades que deben presentar atendiendo a la disciplina deportiva a la que estén destinados. Para la definición de dichas propiedades y la obtención de las mismas en las diferentes superficies deportivas ha sido necesaria la colaboración de empresas, laboratorios, centros tecnológicos y organismos reguladores de distintos deportes, dando lugar a la normativa técnica que regula las propiedades que debe presentar cada una de las tipologías de pavimentos deportivos citadas (ver apartado 2.7.2).

2.5.2. Importancia de los pavimentos deportivos en el rendimiento y la salud

De acuerdo a lo señalado en el apartado 2.4, la capacidad de amortiguación de impactos de los pavimentos es un aspecto clave desde el punto de vista de la seguridad de los deportistas. En esta línea Nigg (1988) demostró que tanto los deportistas profesionales como amateurs percibían mayor dolor en las extremidades inferiores cuando practicaban deporte sobre superficies duras en comparación a cuando lo hacían sobre superficies más amortiguadoras. Desde el punto de vista de las lesiones, se observa un aumento en aquellas superficies que cuentan con una menor capacidad de amortiguación de impactos (Andreasson & Olofsson, 1983; James, 1978).

Frente a mayores niveles de impacto, los deportistas modifican sus patrones de movimiento. A este respecto, en estudios realizados sobre corredores se demostró que en superficies más rígidas aumentaban el ángulo y la velocidad de flexión de rodilla en el aterrizaje y disminuían el ángulo del pie con respecto a la horizontal con el objetivo de reducir los niveles de impacto a los que sometían a su sistema musculoesquelético (Bobbert et al., 1992; De Wit & De Clercq, 1997; Wright et al., 1998). En la misma dirección (McMahon & Greene, 1979) se han realizado análisis de movimientos y con plataformas dinamométricas para estudiar la relación entre la rigidez de la superficie deportiva y el movimiento de carrera midiendo el tiempo de contacto del pie con el suelo y la longitud de zancada. Un menor tiempo de contacto del pie y mayor longitud de zancada implica correr más rápido. Se ha llegado a la conclusión de que las superficies rígidas disminuyen el tiempo de contacto a la vez que la longitud de la zancada. El efecto contrario tiene lugar con las superficies muy blandas, con lo que también se ha demostrado que las propiedades de los pavimentos tienen efecto en los movimientos de los deportistas ya que de forma inconsciente los adaptan para lograr la máxima protección de su sistema musculoesquelético. En otro estudio (Durá et al., 1999) se utilizaron acelerómetros, técnicas de fotogrametría y plantillas instrumentadas con sensores de presión para analizar tanto el tiempo de contacto con el pavimento como el tiempo que el deportista estaba en el aire tras dejarse caer desde una altura determinada y volver a impulsarse para realizar un salto hacia adelante. Estos autores observaron que la utilización de calzados o pavimentos con diferentes propiedades provocaban cambios en el gesto del deportista, como variaciones en el ángulo de flexión de la rodilla, cadera o tobillo. Esto se producía cuando la superficie era más rígida y se conjeturó que el atleta adaptaba sus movimien-

tos para protegerse limitando los niveles de impacto y rendimiento (altura de salto alcanzada) sobre superficies con diferentes propiedades.

Como se ha mencionado, uno de los mecanismos para reducir las fuerzas de impacto es la deformación que sufren los pavimentos cuando son sometidos a los impactos provocados por los deportistas al correr o saltar. Esta deformación debe controlarse para evitar inestabilidades en la pisada del deportista puesto que, en el caso de deformaciones muy grandes, estas inestabilidades pueden provocar movimientos inesperados de las articulaciones que, a su vez, pueden conducir a lesiones como esguinces de tobillo o roturas del ligamento cruzado anterior de la rodilla. Además, las inestabilidades se asocian a una mayor actividad muscular para alcanzar el equilibrio, lo que podría provocar fatiga muscular en casos en los que con la propia actividad deportiva no se alcanzaría (Goryachev et al., 2011; Gu et al., 2014). De la energía que aplica el deportista al pavimento durante el contacto, parte es disipada por la deformación del mismo y parte es devuelta al deportista de forma que le facilita la realización del siguiente gesto (ver apartado 2.4). En este sentido, aquellos pavimentos capaces de devolver mayor cantidad de energía reducirán la fatiga y mejorarán el rendimiento durante la práctica deportiva (Baroud et al., 1999; Katkat et al., 2009; Stefanyshyn & Nigg, 2000).

Desde el punto de vista del agarre o tracción, la mayoría de los estudios consultados se centran en el calzado, ya que este parámetro ha sido estudiado principalmente en deportes en los que se utilizan tacos debido a su importancia desde el punto de vista de la seguridad de los jugadores (De Clercq et al., 2014; Galbusera et al., 2013; Gehring et al., 2008; Shorten & Himmelsbach, 2002). Sin embargo, en el caso del tenis esta propiedad ha sido también estudiada a fondo desde el punto de vista del pavimento debido a que este deporte es practicado en superficies con propiedades diferentes (tierra batida, césped, material sintético, etc.) y un agarre óptimo es clave para su desarrollo. En este sentido, un estudio analizó los casos de dolor que sufrían los tenistas en sus miembros inferiores jugando en diferentes superficies el mismo número de horas, demostrando que la tierra batida es la que provocaba menores molestias o lesiones (Nigg & Yeadon, 1987). Las superficies incluidas en el estudio fueron: *clay* (tierra batida), *synthetic sand* (superficie sintética con arena suelta en la superficie), *synthetic surface* (idéntica a *synthetic sand* pero sin arena en la superficie), *asphalt* (asfalto u hormigón poroso), *carpet* (hormigón cubierto con una moqueta de fieltro) y *synthetic grill* (superficie sintética portable en forma de malla colocada sobre base de hormigón) y el resultado, ordenando las superficies de menor a mayor número de casos con dolor, es el mostrado a continuación (Figura 2.3):

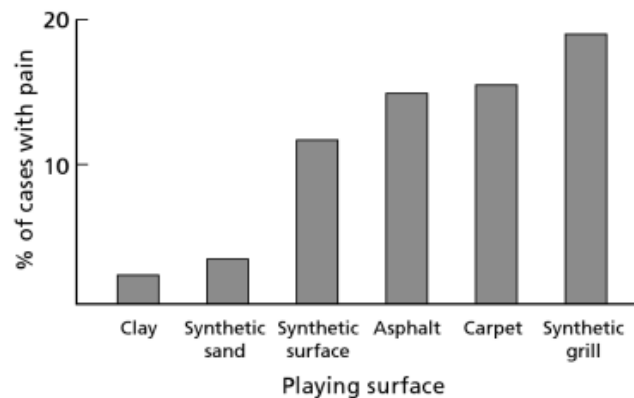


Figura 2.3. Incidencia de dolor en los miembros inferiores de los tenistas en función de la superficie deportiva que usan.

Se observó que la superficie que provocaba mayor número de casos con dolor fue la sintética portable, seguida de la moqueta y el asfalto. Sin embargo, en este estudio no se analizaron las propiedades de las diferentes superficies con el propósito de identificar las posibles causas que explicaran el mayor número de casos de dolor en unas superficies con respecto a otras.

La mayoría de los estudios consultados relacionan la mayor incidencia de lesiones y/o dolores con la fricción o agarre de la pista. Con ese objetivo se realizó un estudio que comparaba los coeficientes de fricción de pistas de tierra batida y sintéticos con arena suelta en la superficie con el resto de pavimentos, comprobando que los primeros presentaban coeficientes de aproximadamente 0.5-0.8 y los segundos 0.8-1.2, siendo por tanto más complicado para los tenistas deslizarse en estos últimos (Yoshioka, 1979). En la misma línea, pero centrándose únicamente en las superficies de tierra batida, se demostró que existen diferencias en la ejecución del gesto deportivo de deslizamiento durante la práctica del tenis atendiendo al porcentaje de partículas gruesas y finas que conformaban la tierra batida (Ura et al., 2014).

En otra línea de investigación, diversos autores afirman que el sistema esquelético de los niños muestra numerosos cambios con el fin de adaptarse a la intensidad del deporte practicado así como a las propiedades del pavimento deportivo (Karlsson et al., 2008; Vicente-Rodríguez et al., 2004; Vicente-Rodríguez, 2006). De hecho, se ha demostrado que los niños modifican su patrón de carrera y someten a su sistema musculoesquelético a mayores niveles de impacto al correr sobre césped artificial que sobre césped natural, diferen-

cia que no se encuentra en los adultos (Navarro, 2013; Sanchis, 2013; Zanetti, 2009). Debe tenerse en cuenta que las lesiones en este grupo de población pueden afectar al crecimiento óseo y los tejidos blandos.

Por último, debe tenerse en cuenta que garantizar la seguridad y el rendimiento de los deportistas no pasa solamente por conocer y optimizar la interacción entre el deportista y la superficie (desde el punto de vista de la amortiguación de impactos, la deformación, el retorno de energía y el agarre), sino que debe tenerse en cuenta también la interacción entre el balón o pelota y el pavimento. La capacidad de predicción del comportamiento del balón por parte de los jugadores permitirá tener un mayor acierto en el juego y evitar movimientos inesperados que puedan aumentar el riesgo de sufrir una lesión. En este sentido, debe tenerse en cuenta que el balón/pelota puede interactuar con el pavimento de tres maneras diferentes: rodando sobre el mismo, impactando de forma vertical o impactando de forma angulada. Estas tres interacciones se analizan de forma diferente denominándose rodadura, bote vertical y bote angulado respectivamente. La evaluación de unos u otros parámetros y los requisitos exigidos dependerán del deporte al que esté destinado el pavimento. Por ejemplo, en deportes como el fútbol se evalúa la rodadura del balón y el bote vertical, mientras que en el caso del tenis no se tiene en cuenta la rodadura de la pelota y sí el bote vertical y el bote angulado. Esta información se detalla ampliamente en el apartado 2.7 de esta tesis relativo al Marco Normativo, ya que existen normas técnicas que regulan este tipo de ensayos y los rangos exigidos para diferentes disciplinas deportivas.

A partir de lo señalado, se puede afirmar que el pavimento deportivo es un elemento clave desde el punto de vista de la seguridad y el rendimiento de los deportistas. No obstante, dado que el pádel es un deporte relativamente nuevo y que todavía no se practica de forma global, no existen estudios sobre las propiedades más adecuadas de los pavimentos destinados a este deporte, que se practica principalmente sobre césped artificial (Navarro, 2013).

2.5.3. El césped artificial

2.5.3.1. Historia del césped artificial

La hierba natural es el único pavimento deportivo formado por seres vivos, lo que lo convierte en uno de los sistemas más complejos de mantener en buen estado, sobre todo en zonas con climas extremos o en instalaciones cubiertas. Por ello, en los años 60 empezó a desarrollarse el césped artificial.

En 1966 se instaló el primer campo de fútbol americano de césped artificial en el Astrodome de Houston, fabricado con fibras de nylon. Muy pronto se empezó a instalar en campos de béisbol y de fútbol americano por todo Estados Unidos y en 1971 se dispuso del primer campo de fútbol de este tipo de superficie en Reino Unido, en el Caledonian Park. No obstante, fue su utilización en un campo de hockey en los Juegos Olímpicos de Montreal (1976) lo que dio un impulso realmente importante como superficie deportiva (*Consejo Superior de Deportes*, 2012b).

En España, los terrenos de hierba natural proliferaron entre 1960 y 1990 como consecuencia de la necesidad de construir nuevas instalaciones deportivas, principalmente de fútbol, para dar respuesta al incremento de la práctica deportiva de la población (García Ferrando & Llopis, 2011). Sin embargo, estos campos se construían en exclusiva para el equipo de la localidad puesto que un uso elevado de los mismos provocaba un rápido deterioro del césped. Posteriormente, debido sobre todo al auge del “deporte para todos” y a los problemas de gestión y mantenimiento que conllevaban los campos de hierba natural, la construcción de este tipo de instalaciones fue reduciéndose progresivamente, de manera que los clubes más modestos recurrían a campos de tierra (Burillo, 2010). La aparición de la hierba artificial supuso una alternativa a la tierra para aquellos clubes que no disponían de un presupuesto suficiente para gestionar y mantener campos de hierba natural, dado que requiere un menor mantenimiento y permite un mayor número de horas de uso que las superficies naturales.

Desde sus inicios, la hierba artificial ha sufrido una evolución técnica considerable que tiene como punto de partida el producto fabricado en Nylon que se instalaba en los años 60. El césped se colocaba sobre una base elástica, formando lo que hoy se conoce como césped artificial de primera generación (Figura 2.4).

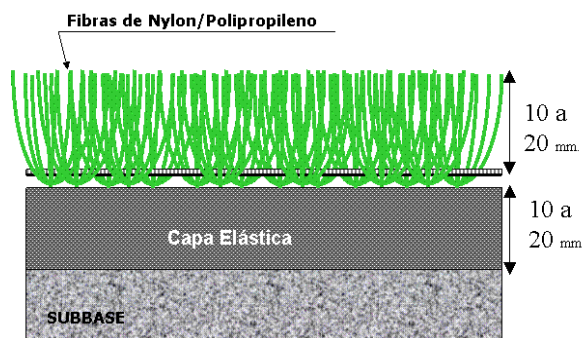


Figura 2.4. Estructura del césped artificial de primera generación (Burillo, 2010).

La segunda generación llegó a finales de la década de los 80, cuando se desarrollaron diferentes productos cambiando el material de la fibra a polipropileno (PP). Este material redujo considerablemente las lesiones por abrasión de la piel respecto al Nylon, aunque es menos resistente. Es lo que se conoce como césped artificial de segunda generación, que incorporaba arena como material de relleno y la fibra alcanzaba longitudes mayores para poder albergar este material (Figura 2.5).

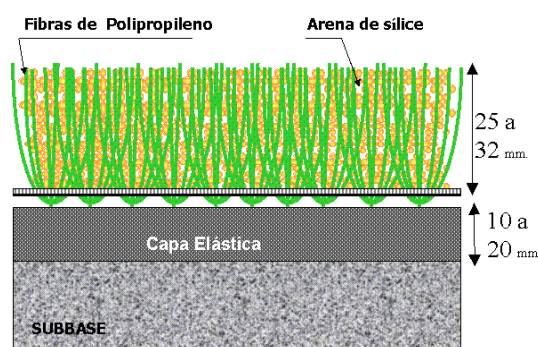


Figura 2.5. Estructura del césped artificial de segunda generación (Burillo, 2010).

En esta nueva tipología de césped artificial, la arena, además de actuar como lastre, reducía el aplastamiento de la fibra, lo que provocaba un aumento de la durabilidad del césped. La capacidad de reducir las fuerzas de impacto de este tipo de superficies, al igual que ocurría en las de primera generación, era baja por lo que cuando se instalaban también se colocaba una capa elástica de entre 10 y 20 mm de espesor.

A principios de los 90, después del éxito de los campos instalados y una vez comprobada la rentabilidad económica asociada a la gestión de las instalaciones que contaban con este tipo de superficies deportivas, se produjo el reconocimiento internacional de este tipo de pavimentos en el mundo del deporte, principalmente del fútbol. Sin embargo, sus propiedades no eran las más adecuadas para la práctica deportiva; de hecho, ambas generaciones de césped artificial obligaban a utilizar un calzado diferente al de la hierba natural y modificaban la forma de juego, sobre todo en deportes como el fútbol (Burillo, 2010).

El césped artificial adquirió una mala reputación entre los aficionados y especialmente entre los jugadores: se trataba de una superficie más dura que la hierba natural y provocaba más lesiones (Cavanagh & Lafortune, 1980; James, 1978; Nigg, 2013; Nigg et al., 2003). Como consecuencia, se experimentó un

retroceso en el uso del césped artificial como superficie de juego: las ligas inglesa y escocesa de fútbol dictaron una moratoria prohibiéndolo en partidos oficiales y, de forma paulatina, se fue volviendo al uso del césped natural. El uso del césped artificial fue prohibido también por FIFA, UEFA y por otras muchas asociaciones nacionales de fútbol (Burillo, 2010).

Pero estas superficies continuaron desarrollándose, buscando una mayor capacidad de amortiguación de impactos, con un agarre/tracción entre el calzado y el pavimento óptimo, etc. El objetivo era aproximar sus propiedades a las de la hierba natural, considerada por los jugadores la superficie de referencia. A finales de los años 90 apareció lo que se denomina césped artificial de tercera generación cuyas fibras están compuestas por polietileno (PE). Este material reduce la abrasión de la piel de los jugadores respecto del PP utilizado en la generación anterior. Como material de relleno, además de arena (que actúa como lastre), en algunos deportes se utiliza un granulado de material más elástico (denominado habitualmente granulado de caucho) que proporciona al pavimento una mayor amortiguación de impactos (Figura 2.6).

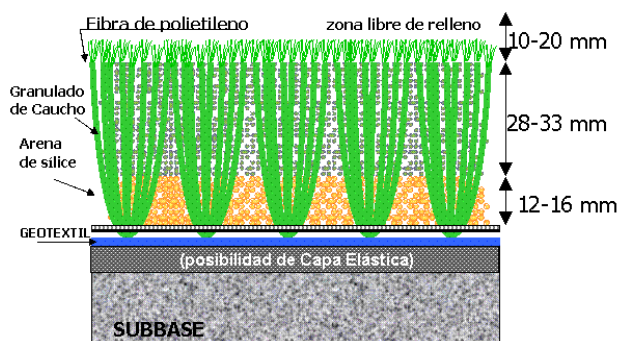


Figura 2.6. Estructura del césped artificial de tercera generación (Burillo, 2010).

Para albergar el material de relleno se aumentó la longitud de la fibra hasta 50-65 mm, dependiendo de la solución constructiva adoptada (con o sin capa elástica) y del deporte que se fuera a practicar sobre el pavimento.

Esta nueva generación de césped artificial presenta un comportamiento más parecido al de la hierba natural de buena calidad y puede ser utilizado con el calzado de tacos al que los jugadores están acostumbrados. De este modo, se lograron superar parte de las barreras técnicas y de funcionalidad deportiva. Así, aunque existe todavía cierta reticencia por parte de algunos jugadores, entrenadores y equipos médicos a desarrollar sus competiciones en este tipo

de superficies, se están alcanzando niveles de aceptación sin precedentes. Tanto es así que la FIFA y la UEFA han permitido el uso del césped artificial para competiciones internacionales oficiales (los últimos mundiales sub-17 y sub-19 masculinos y el mundial femenino de fútbol ya se han desarrollado íntegramente sobre campos de fútbol de césped artificial).

Con ello, el amplio mercado que supone para las empresas fabricantes (y para entidades como la FIFA) el desarrollo del césped artificial ha provocado la inversión de mayores recursos para la investigación en este tipo de superficies, así como en las metodologías de ensayo utilizadas para la evaluación de sus propiedades. Ello ha facilitado que deportes como el rugby, el hockey o el tenis se beneficien de estos avances contando con conocimiento para desarrollar pavimentos con propiedades idóneas para la práctica de las diferentes disciplinas deportivas. Sin embargo, en el caso del pádel, hasta el desarrollo de esta tesis no se ha llevado a cabo un estudio profundo de los requerimientos de este deporte y la adecuación de las propiedades del pavimento deportivo a las mismas.

2.5.3.2. Elementos que componen un pavimento deportivo de césped artificial

Según lo comentado, los pavimentos deportivos de césped artificial están compuestos por la subbase (superficie sobre la que se instala el césped), la moqueta o “alfombra” (formada por *backing* y fibra), el material de relleno (que varía dependiendo de la disciplina deportiva a la que vaya destinado el pavimento) y, en ocasiones, una capa elástica que aporta a la superficie de juego capacidad de absorción de impactos. A continuación se describen de forma detallada cada uno de estos componentes.

2.5.3.2a. Subbase

Se denomina subbase a la solera sobre la que se instala el pavimento de césped artificial. El acabado de esta subbase es de gran importancia ya que imperfecciones en la misma como, por ejemplo, los hundimientos (a priori, fácilmente resolubles durante su construcción) son trasladados al pavimento final. La resolución del problema, una vez instalado el césped artificial, es muy complicada y en ocasiones imposible sin la retirada del césped para solventar el problema directamente sobre la subbase.

2.5.3.2b. Capa elástica o *shockpad*

Se instala debajo de la moqueta de césped artificial y su función es mantener las propiedades de amortiguación de impactos por un periodo de tiempo más prolongado. Puede estar formada por una mezcla de cauchos y ligante, PVC,

látex o poliuretano espumado (*Consejo Superior de Deportes*, 2012b). Debe tenerse en cuenta que el material del que se fabrique ha de ser resistente al agua y drenante, ya que en la mayoría de las ocasiones se colocará en instalaciones exteriores y por tanto sometidas a las inclemencias meteorológicas.

La fabricación de esta capa elástica puede realizarse:

- *In situ*: se construye e instala sobre la subbase una vez ejecutada.
- Prefabricada: es producida en fábrica y transportada para su instalación sobre la subbase.

2.5.3.2c. Soporte base o *backing*

El soporte base o *backing* es el tejido al que se une la fibra mediante el proceso denominado *tufting* (ver apartado 2.5.3.2d). Está formado por una o dos capas de polipropileno que puede estabilizarse con poliéster o fibra de vidrio. Debe estar perforado para garantizar el drenaje del agua.

Para la definición completa de los pavimentos de césped artificial se suele distinguir entre *backing* primario y secundario. Se habla de *backing* primario cuando se hace referencia al tejido sobre el cual se teje la fibra y secundario al adhesivo que se coloca en el dorso de la moqueta para asegurar un adecuado anclaje de la fibra.

Por otro lado, la fabricación de la moqueta se realiza en rollos de 4 metros, de forma que su transporte e instalación sean relativamente cómodos. Por tanto, para la instalación de una superficie de juego se deben unir diferentes rollos a través del *backing*. Dicha unión se realiza mediante una junta que consta de un geotextil que une ambas partes mediante el uso de una cola específica (Figura 2.7) (*Consejo Superior de Deportes*, 2012b). Dicha junta debe soportar las cargas propias del deporte al que esté destinado el pavimento (ver apartado 2.7.2.3).

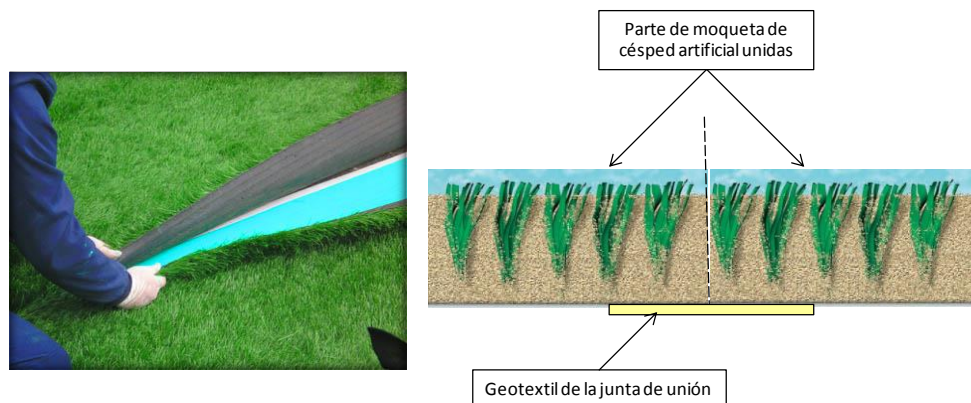


Figura 2.7. Izquierda: proceso de instalación de la junta; derecha: esquema de la junta (Burillo, 2010).

2.5.3.2d. Fibra

El material utilizado en la fabricación de la fibra puede variar. Como se ha comentado, en la primera generación se utilizaba fundamentalmente Nylon y posteriormente apareció la segunda generación en la que la fibra era de polipropileno (PP), que tiene menor resistencia que el Nylon pero presenta una menor abrasividad en el contacto con la piel. Actualmente, el material con el que se fabrica la fibra depende del deporte al que esté destinada, pudiendo ser de polietileno (PE) o de polipropileno (PP). En deportes como el pádel o el golf (en los que la piel del deportista no entra en contacto con el pavimento salvo de forma accidental) todavía se sigue utilizando el PP debido a que presenta una resistencia mayor que el PE. En deportes como el fútbol o el rugby (en los que el propio desarrollo del juego conlleva una frecuente interacción de la piel de los deportistas con el pavimento) el material utilizado en la fabricación de la fibra es el polietileno (PE).

La longitud de la fibra es variable dependiendo del deporte al que el césped artificial vaya destinado. Así, deportes como el fútbol o el rugby, que requieren de pavimentos con una mayor capacidad de amortiguación de impactos (ya que se producen mayor número de caídas y el calzado utilizado presenta menor amortiguación que el utilizado para otros deportes como el tenis) (Frederick, 1986; Lake, 2000), se utiliza césped con una longitud de la fibra mayor (entre 55 y 65 mm) para poder incrementar la cantidad de material de relleno que actúe como amortiguador, aunque esta longitud (y, por tanto, la cantidad de relleno) puede disminuir en caso de contar con capa elástica (que confiere al pavimento capacidad de amortiguación de impactos). Por otro lado, en de-

portes como el pádel o el tenis, en los que las caídas son muy infrecuentes y el calzado utilizado posee sistemas de amortiguación, el pavimento no precisa de material de relleno que aporte capacidad de reducción de fuerzas, por lo que la longitud de la fibra es menor (entre 15 y 25 mm).

En cuanto a la **forma de la fibra**, existen actualmente cuatro tipologías diferentes (Burillo, 2010): rectas-fibriladas, rectas-monofilamento, rizadas y mixtas. A continuación se detallan las características de cada una de ellas:

- **Rectas-fibriladas:** este tipo de fibra se produce mediante extrusión, obteniéndose una lámina de aproximadamente 1 cm de anchura sobre la que se realizan una serie de cortes longitudinales (Figura 2.8). Estos cortes se abrirán completamente durante el uso normal del pavimento, de forma que el césped artificial acabará presentando un aspecto similar al de la hierba natural.

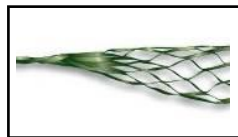


Figura 2.8. Fibra recta-fibrilada (Burillo, 2010).

- **Rectas-monofilamento:** Se caracterizan por ser monofibras libres del proceso de fibrilación (Figura 2.9).



Figura 2.9. Fibra recta-monofilamento (Burillo, 2010).

Son fibras menos densas que las fibriladas por lo se requiere de un mayor número por metro cuadrado para simular el aspecto de la hierba natural. Conservan mejor sus características iniciales gracias a una mayor resistencia debida al proceso de fabricación que consiste en la extrusión de cada una de las fibras por separado. Pueden llevar nervio en el centro o en los extremos o tener diferentes formas (forma de S, por ejemplo) con el objetivo de que recupere con mayor rapidez la verticalidad (Figura 2.10).



Figura 2.10. Fibra recta-monofilamento con diferentes perfiles para mejorar el efecto de memoria de forma (Burillo, 2010).

- Rizadas: como su nombre indica, se trata de fibras monofilamento o fibriladas rizadas. Aunque la longitud total de la fibra sea similar a las anteriores, al ser rizadas, su altura real es menor (Figura 2.11).

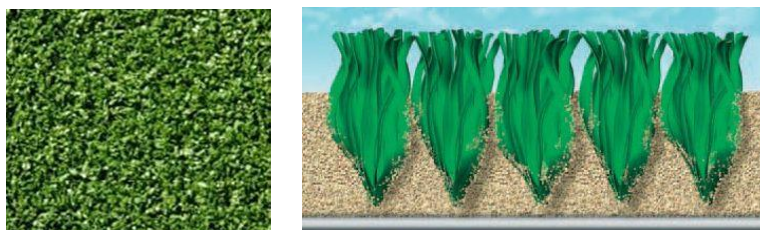


Figura 2.11. Imagen y esquema de un pavimento artificial para tenis con fibra rizada (Burillo, 2010).

Presentan una menor similitud a las características de los campos de césped natural tanto en su aspecto como en sus propiedades. Sin embargo, son más abrasivas por lo que su uso en pavimentos deportivos está en detrimento.

- **Mixtas:** es la combinación de dos o más tipologías diferentes de fibras. Lo habitual es que se combinen dos para compensar las fortalezas y debilidades de una y otra. Existe la combinación monofilamento-fibrilado, garantizándose la mayor resistencia del monofilamento y la mayor similitud a la hierba natural de las fibriladas. Son una buena alternativa, aunque suponen un incremento considerable del precio final del producto. También se puede encontrar la combinación rizadas-fibriladas, aunque en menor medida; en este caso las rizadas aseguran que no exista desplazamiento del material de relleno y las fibriladas confieren un aspecto similar a la hierba natural a largo plazo. Al igual que en el caso anterior, se trata de una buena opción pero supone un coste final mayor.

El proceso de unión de la fibra al soporte base o *backing* se conoce con el nombre de *tufting*. Este proceso consiste en la inserción de las fibras mediante

agujas en una base textil (soporte base o *backing*) y la aplicación posterior de una capa de adhesivo, normalmente látex o poliuretano (Figura 2.12), sobre el dorso de la moqueta para una correcta adhesión de las fibras que evite el arrancado de las mismas por el uso normal del pavimento. La resistencia al arranque de la fibra requerida será diferente dependiendo del deporte al que esté destinado el césped, por lo que previamente a su instalación deberá ser evaluada (ver apartado 2.7.1.3).

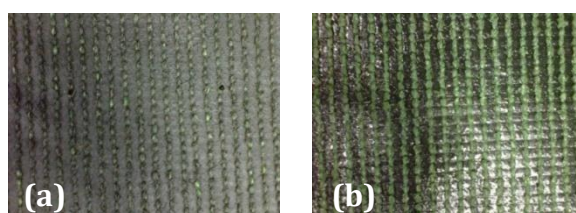


Figura 2.12. Dorso del césped artificial: (a) adhesivo látex; (b) adhesivo poliuretano (*Consejo Superior de Deportes, 2012b*).

Durante el proceso de *tufting*, se tendrán en cuenta tres aspectos que definirán las características del césped artificial: la longitud de la fibra, la galga o distancia entre ejes de aguja de la máquina y las puntadas por metro lineal. Estos dos últimos parámetros condicionarán el número de puntadas por metro cuadrado, característica que tendrá gran influencia tanto en el aspecto final como en las propiedades del pavimento de césped artificial.

Por otro lado, la calidad de la fibra viene determinada por su densidad o Tex (*deniers*). La definición de Tex es el peso en gramos de 1000 metros de hilo. Normalmente se utiliza una fracción del Tex (el decitex o dtex, que es una décima parte del Tex) para expresar la cantidad de fibra o hilo que contiene el césped por m²; un mayor dtex indicará una mayor calidad de la fibra. Por tanto, una fibra de 11000 dtex significa que cada 1000 m de esa fibra pesarán 11000 g. Dependiendo del deporte al que vaya destinado el pavimento de césped artificial, el dtex requerido es diferente. Se recomienda un mínimo de 11000 dtex para fútbol y rugby, 8800 dtex para hockey, entre 8800 y 6600 dtex para pádel y tenis y 2000 dtex para césped decorativo, siendo todos ellos valores aproximados (Burillo, 2010).

Actualmente el color de la fibra de césped artificial puede ser muy variado (verde, azul, tierra, etc.), dependiendo del uso final del mismo (Figura 2.13).



Figura 2.13. Césped artificial deportivo de diferentes colores: pista de pádel azul, pista de tenis color tierra y pista de tenis verde.

Finalmente, la fibra debe presentar propiedades adecuadas teniendo en cuenta el uso que se va a hacer de la misma. En la mayoría de las ocasiones, esta fibra estará expuesta a la radiación UV, por lo que previamente a su instalación deberá comprobarse que ésta no provoca un deterioro acelerado del material (ver apartado 2.7.2.3).

2.5.2.3e. Materiales de relleno

Para completar la instalación del césped artificial es necesario lastrarlo y dotarlo de las propiedades óptimas para la práctica segura del deporte que sobre él se vaya a desarrollar. Para ello se utiliza arena y un material granulado (denominado caucho en el ámbito de los pavimentos deportivos) y cuya composición puede variar.

En el caso del fútbol y el rugby, en el césped artificial de tercera generación se utiliza el caucho como complemento de la arena utilizada en las generaciones anteriores, ya que diferentes estudios han demostrado que las propiedades de las primeras generaciones no eran las adecuadas para la práctica de estos deportes atendiendo a las características específicas del juego y al calzado utilizado (Burillo, 2010). Sin embargo, en deportes como el tenis, el hockey o el pádel únicamente se utiliza arena como material de relleno.

Las cantidades de caucho y arena dependerán tanto del deporte al que esté destinado el pavimento como de la solución constructiva adoptada por el fabricante (con o sin capa elástica), además de las propiedades intrínsecas del relleno (tipo de material, granulometría, etc.).

A continuación se describen de forma detallada los diferentes materiales de relleno utilizados.

La arena

Como se ha indicado, la principal misión de la arena es la de actuar como lastre que evite el movimiento de la moqueta de césped. Sin embargo, deberá cumplir unos requisitos mínimos que garanticen el buen funcionamiento del producto final. La arena debe presentar cantos redondeados con el objetivo de evitar aristas que puedan desgastar de forma acelerada la fibra. Debe contar con una granulometría adecuada (entre 0.3 y 0.8 mm), de manera que sea lo suficientemente fina para que pueda instalarse de forma cómoda (la arena penetre entre la fibra) y lo suficientemente gruesa para que no pueda ser inhalada. Además debe tener un contenido en SiO₂ mayor del 96% (arena de sílice) con el fin de evitar que puedan proliferar hongos u otro tipo de seres vivos que puedan afectar al pavimento o a los usuarios.

Por lo tanto, la arena debe ser analizada previamente a su uso como material de relleno en pavimentos deportivos de césped artificial (ver apartado 2.7.2.3).

El caucho

Se denomina habitualmente caucho al material de relleno que se coloca sobre la arena y que aporta al césped artificial la mayoría de sus propiedades deportivas. Las tipologías de materiales utilizados se pueden distinguir entre reciclados y vírgenes, cada uno de ellos con una serie de ventajas e inconvenientes (Burillo, 2010):

Reciclados:

- Caucho SBR (*Styrene Butadiene Rubber*), procedente de neumáticos fuera de uso:
 - o Ventajas: mejora la capacidad de amortiguación de impactos del sistema, resiste a la radiación UV, termoestable, material reutilizado, menor precio.
 - o Inconvenientes: sin probabilidad de variar su formulación (material reutilizado), color negro (el tintado o encapsulado aumenta su precio). Se ha relacionado el uso de este producto como relleno en césped artificial con la aparición de cáncer en los deportistas, pero no existen pruebas concluyentes (NBC, 2014).

Vírgenes:

- Caucho EPDM, vulcanizado con peróxido:
 - Ventajas: resistente a las condiciones meteorológicas y a la radiación UV, posibilidad de variar su formulación, color verde.
 - Inconvenientes: bajas propiedades mecánicas, precio elevado.
- Caucho termoplástico a base de polietileno y otros polímeros no contaminantes:
 - Ventajas: resistente a las condiciones meteorológicas y a la radiación UV, color verde.
 - Inconvenientes: bajas propiedades mecánicas, termoplástico, precio elevado.

Productos naturales:

- Triturado de corcho o fibra de coco:
 - Ventajas: resistente a las condiciones meteorológicas y a la radiación UV, no contaminantes.
 - Inconvenientes: bajas propiedades mecánicas, precio elevado, flotabilidad (pérdida de material en caso de lluvias abundantes).

El más utilizado de todos los nombrados es el relleno de caucho procedente de reciclado de neumáticos (SBR) por sus propiedades mecánicas y su precio, estando presente en el 90% de los campos de césped artificial de todo el mundo (Burillo, 2010).

El material granulado utilizado influirá sobre el comportamiento del balón, la amortiguación de impactos, el agarre y, en general, sobre la respuesta mecánica del pavimento frente a los requerimientos de los deportistas. Su granulometría y forma dependen del proceso de obtención empleado e influirán en las propiedades finales del pavimento. Se ha demostrado que el porcentaje de granos finos y gruesos tiene influencia tanto sobre las propiedades finales del césped artificial como sobre la durabilidad de las mismas (Alcántara et al., 2009).

Por tanto, la granulometría del caucho debe ser evaluada previamente a ser utilizado como material de relleno en pavimentos deportivos de césped artificial (ver apartado 2.7.2.3).

2.6. El calzado en la práctica del pádel

2.6.1. Evolución histórica del calzado deportivo

Aunque puede considerarse que el proceso de tecnificación del calzado deportivo se inició en el siglo XIX con la fabricación en 1868 de las primeras suelas de caucho, no fue hasta los inicios del siglo XX cuando la producción masiva de calzado estuvo a disposición del público en general. Hasta entonces solo un grupo elitista de practicantes de deportes, como el cricket en Inglaterra o el béisbol en EEUU, podía acceder a un calzado apropiado para su práctica deportiva (*Guía de recomendaciones para el diseño de calzado (IBV)*, n.d.).

Alrededor de 1940 fueron introducidos los primeros polímeros como materiales amortiguadores en cuñas, entresuelas y suelas. Durante estos años, se produjo un gran auge en la producción de calzado deportivo debido a, entre otras razones, la popularidad alcanzada por el utilizado para la práctica del baloncesto con suela de goma, que además de confortable resultaba ser duradero y de bajo precio.

En la década de los 50 compañías como Adidas y Puma en Europa y Tiger en Japón comenzaron a aplicar criterios biomecánicos y médicos en el diseño y construcción de su calzado. Este hecho les permitió mantener un dominio en los mercados internacionales hasta la década de los 70, cuando apareció Nike y se produjo un cambio de estrategia a través de la cual las compañías clásicas como Brooks o Converse basaron sus campañas de publicidad en los beneficios que aportaba la biomecánica al calzado deportivo. Fue en esta década cuando se iniciaron las investigaciones sobre calzado deportivo, consecuencia del citado cambio de estrategia introducido por Nike y el considerable aumento del número de personas que realizaban actividad física, principalmente en EEUU (Cavanagh, 1980; Clement et al., 1981; Hamill et al., 1983; James, 1978; Krissoff & Ferris, 1979; Light et al., 1980; Nigg et al., 1977).

Los trabajos iniciales se centraron en el análisis de la cinemática del pie y de las extremidades inferiores (Clarke et al., 1982; Nigg et al., 1977), la evaluación de las fuerzas internas y externas (Bobbert et al., 1991; Burdett, 1981; Cavanagh & Lafortune, 1980; Denoth, 1986; Frederick & Hagy, 2010; Nigg & Morlock, 1987; Scott & Winter, 1990), aspectos de energía relacionados con las zapatillas de carrera (Hamill et al., 1988; Stefanyshyn & Nigg, 1997; Williams, 1985) y la relación entre las variables biomecánicas y las lesiones (Cook et al., 1990; Cymet & Sinkov, 2006; James, 1978; Konradsen et al., 1990;

Krissoff & Ferris, 1979; Lane et al., 1986; Radin et al., 1982; Radin & Paul, 1971; Robbins & Gouw, 1990; Schweltnus et al., 1990; van Mechelen, 1992).

Sin embargo, los resultados de estos estudios fueron parcialmente responsables de la fabricación de un nuevo concepto de zapatillas con zonas rígidas alrededor del talón (para la estabilización de la parte trasera del pie) y cuñas en la parte lateral del talón, modificaciones que pudieron ser responsables de nuevos problemas y lesiones entre los corredores.

Por tanto, durante estos primeros estudios, hubo resultados positivos como la identificación de las cuestiones clave de la investigación en calzado deportivo y el desarrollo de metodologías para cuantificar las variables cinemáticas. Pero también tuvieron consecuencias negativas:

- Las aproximaciones iniciales fueron puramente mecánicas (no se tuvo en cuenta el *feedback* de los corredores ni las reacciones biológicas).
- Los resultados iniciales fueron a menudo no adecuadamente interpretados y, por tanto, fueron parcialmente responsables de algunos errores en el diseño del calzado deportivo.

A finales del siglo XX y principios del XXI las investigaciones sobre calzado deportivo permitieron importantes avances. Además, algunos de los viejos paradigmas cambiaron y otros aparecieron o fueron corroborados como evidencias científicas. Las nuevas propuestas o descubrimientos más destacables fueron:

1. La relación entre la percepción de los deportistas y las propiedades mecánicas fue evaluada (Nurse & Nigg, 1999; Robbins & Gouw, 1990), hecho que permitió una mayor aceptación del calzado por parte de los atletas.
2. El movimiento del pie descalzo fue estudiado de forma que los nuevos diseños de calzado deportivo permitieran el mismo movimiento (Stacoff et al., 2000).
3. El paradigma antiguo que relacionaba los niveles de impacto con sobrecargas fue sustituido por una nueva propuesta que relacionaba las fuerzas de impacto con las vibraciones de los tejidos blandos y la tonificación muscular (Nigg, 1997, 2001; Nigg et al., 2010; Wakeling & Nigg, 2001a, 2001b; Wakeling et al., 2001).
4. El confort se estableció como una variable importante en la investigación del calzado deportivo (Mundermann et al., 2004).

A partir de las propuestas anteriores, en la última década la investigación sobre calzado deportivo se ha centrado en los siguientes aspectos:

- a) Las fuerzas soportadas por los pies durante la práctica de distintos deportes presentan frecuencias y amplitudes diferentes. En estudios anteriores la variable frecuencia no se tenía en cuenta como un factor importante en la probabilidad de sufrir lesiones, demostrándose posteriormente que fuerzas de menor amplitud pero sufridas a mayor frecuencia pueden provocar lesiones similares a las ocasionadas por fuerzas de elevada amplitud y baja frecuencia (Nigg, 2001; Taylor et al., 2012).
- b) Las primeras investigaciones sobre lesiones deportivas relacionadas con el calzado se analizaban únicamente desde un punto de vista estadístico, evaluando la correlación entre diferentes variables (van Mechelen, 1992). Actualmente, además de realizar el análisis estadístico de la correlación entre diferentes variables, se evalúan fuerzas y movimientos, contando con mayor información para identificar las causas de las lesiones (Galbusera et al., 2013; Gehring et al., 2008; Nigg et al., 2010; Nigg et al., 2003; Taylor et al., 2012).
- c) Se ha introducido la variable rendimiento en la definición del diseño del calzado más adecuado para cada una de las disciplinas deportivas, siempre teniendo en cuenta no incrementar el riesgo de lesión de los deportistas (De Clercq et al., 2014; Müller et al., 2010; Shorten & Himmelsbach, 2002).

2.6.2. Importancia del calzado deportivo en el rendimiento y la salud

Actualmente el calzado deportivo se diseña teniendo en cuenta tanto aspectos funcionales (prevención de lesiones, rendimiento y confort) como no funcionales (precio, moda, estilo, durabilidad, etc.) (Reinschmidt & Nigg, 2000), pero siempre considerando que los movimientos realizados en deportes como la carrera, el voleibol, el baloncesto o el tenis, así como las fuerzas aplicadas por los deportistas, son diferentes por lo que las características funcionales exigidas al calzado lo serán también (Nigg & Segesser, 1992).

Durante la práctica deportiva, el pie contacta con el suelo de formas muy variadas pudiendo seguir un patrón muy concreto y repetido (como es el caso de la carrera) o alternar constantemente contactos de carrera con saltos, deslizamientos, giros y cambios de dirección (como en la mayoría de los deportes de equipo: baloncesto, fútbol, etc.). Para un correcto diseño del calzado deportivo se hace necesario un estudio previo de análisis de los gestos y movimientos propios de cada deporte y su relación con las lesiones y el rendimiento. Sobre la base de esta información y de la frecuencia relativa con la que los gestos se repiten durante la práctica del deporte concreto, pueden establecer-

se los requisitos básicos que debe satisfacer el calzado deportivo (*Guía de recomendaciones para el diseño de calzado (IBV)*, n.d.).

El calzado destinado al *running* ha sido el más ampliamente estudiado, tanto por la cantidad de gente que lo practica como por el número de lesiones que provoca este deporte (Clement et al., 1981; Cook, 1990; James, 1978; Krissoff & Ferris, 1979; van Mechelen, 1992; Walter, 1988). Sin embargo, en el diseño de calzado destinado a la práctica del voleibol, squash, baloncesto o tenis (este último puede considerarse el deporte más próximo al pádel) se debe tener en cuenta que los deportistas realizan otros movimientos además de la propia carrera: carrera hacia atrás, cambios de dirección, cambios de sentido, saltos, paradas y/o rotaciones (Stacoff et al., 1993). Por tanto, el calzado destinado a la práctica de estos deportes deberá concebirse para proporcionar adecuadas prestaciones en relación con la estabilidad, amortiguación y el agarre o tracción.

Desde el punto de vista de la **estabilidad**, las lesiones de tobillo (especialmente de los ligamentos laterales) son comunes en este tipo de deportes. Por ejemplo, en baloncesto el 31% de las lesiones sufridas por los jugadores son en el tobillo, de las cuales la mayoría son esguinces. Cuando estos esguinces no son causados por el contacto con otro jugador ocurren como resultado de una excesiva supinación durante un movimiento lateral o en un aterrizaje tras un salto (Stacoff et al., 1996).

La estabilidad lateral puede ser definida como la capacidad de resistir supinaciones excesivas del pie. Para oponer esta resistencia, los deportistas cuentan con elementos naturales y artificiales. Hablamos de elementos naturales cuando nos referimos a la tonicidad muscular, la rigidez de la articulación, factores anatómicos como la geometría de los huesos, la laxitud de los ligamentos o el patrón de movimientos; y hablamos de elementos artificiales cuando mencionamos los vendajes o tobilleras utilizados por los jugadores y la estabilidad aportada por el calzado deportivo (Stussi et al., 1989).

Se han aportado diferentes soluciones para aumentar la estabilidad lateral. Inicialmente la más común fue incrementar la altura de la caña y se demostró que el movimiento de inversión del pie con respecto a la pierna disminuía (Stacoff et al., 1985). Sin embargo, un estudio prospectivo (Barrett et al., 1993) sugirió que las zapatillas de caña alta no ayudan a reducir la incidencia de esguinces de tobillo en el caso del baloncesto. Otro concepto relacionado con la estabilidad lateral que se tiene en cuenta en el proceso de diseño del calzado deportivo es la rigidez a la torsión o estabilidad del calzado durante la realización de un giro sobre el pie de apoyo. Al realizar este tipo de acciones, el apoyo se produce principalmente en la parte delantera del pie por lo que, si el calza-

do no cuenta con una adecuada rigidez torsional, la parte trasera se mueve de forma independiente con respecto a la delantera, pudiendo desembocar en una lesión (Stacoff et al., 1993).

Por otro lado, la capacidad de **amortiguación** del calzado deportivo es un aspecto clave teniendo en cuenta que una menor capacidad de reducción de impactos puede derivar en dolores articulares (Radin et al., 1991) o incluso en problemas más graves como osteoartritis (Radin et al., 1973; Radin et al., 1972). Además, según lo comentado anteriormente (ver apartado 2.4), los mecanismos naturales para amortiguar los impactos (modificación de los patrones de movimiento) aumentan la fatiga y por tanto el riesgo de sufrir una lesión. Este aspecto ha sido menos estudiado en calzado no destinado a la carrera ya que los aterrizajes tras saltos durante la práctica de deportes como el baloncesto, tenis o voleibol se realizan con la parte delantera del pie y el patrón de carrera suele utilizar también la parte delantera dado que la mayoría de los desplazamientos se efectúan mediante *sprints* (Reinschmidt & Nigg, 2000). En un estudio realizado sobre jugadores de voleibol (Stacoff & Kaelin, 1987) se demostró que preferían el calzado con capacidad de amortiguación tanto en la parte delantera como en la parte trasera porque les aportaba protección y confort durante la práctica de este deporte concreto.

Parte del impacto provocado por el deportista es amortiguado por el proceso de deformación experimentado por la suela, por lo que los materiales que la componen son claves para reducir el riesgo de lesión de los deportistas (Aerts & Clercq, 1993) y la fatiga muscular (Nigg et al., 2003). Por otro lado, parte de la energía que es absorbida por el calzado es devuelta al deportista, permitiéndole ejecutar los siguientes gestos con un menor aporte de energía, lo que reducirá su fatiga (Chen et al., 2014; Sinclair et al., 2014; Stefanyshyn & Nigg, 2000; Worobets et al., 2014).

De acuerdo con lo señalado, el **agarre o tracción** entre el calzado y el pavimento está relacionado con el riesgo de lesión de los deportistas además de tener una gran influencia en su rendimiento. Esta propiedad depende fundamentalmente de la parte inferior de la suela, cuyo diseño estará condicionado tanto por el tipo de deporte al que vaya destinada como por el tipo de pavimento sobre el que se vaya a practicar. En el caso del fútbol, las botas cuentan con tacos que favorecen el agarre y, por tanto, permiten un mayor rendimiento en la ejecución de determinados gestos deportivos (cambios de sentido, arranques, paradas). Sin embargo, un agarre excesivo puede ser contraproducente ya que aumenta el riesgo de aparición de determinadas lesiones (ver apartado 2.4). Con este propósito se ha desarrollado gran número de estudios

que analizan la tipología, tamaño y disposición óptima de los tacos de las botas de fútbol teniendo en cuenta las características tanto del jugador (posición, estado de forma) como del pavimento (césped natural, césped artificial, estado del campo) (De Clercq et al., 2014; Galbusera et al., 2013; Kaila, 2007; Schrier et al., 2014; Shorten & Himmelsbach, 2002).

En el caso del tenis, deporte que presenta gran similitud con el pádel y en el que se ha identificado el agarre como el criterio más importante desde el punto de vista de la reducción de lesiones y del rendimiento (Nigg, 2013; Plum et al., 2006), se han encontrado estudios que vinculan el material y el dibujo de la suela con la capacidad de agarre del calzado y su relación con el riesgo de lesión (Zhu, 2014), así como la correspondencia entre la fricción y el riesgo de lesión (Damm et al., 2014).

Actualmente el **calzado deportivo** está compuesto de las siguientes partes (Figura 2.14): suela, entresuela, plantilla, contrafuerte del talón y corte. De forma muy resumida, la función de cada una de estas partes es la siguiente (*Guía de recomendaciones para el diseño de calzado (IBV)*, n.d.):

- La **suela**: es la parte responsable de la interacción entre el calzado y el pavimento por lo que debe presentar características de amortiguación de impactos, estabilidad y fricción adecuadas para la disciplina deportiva a la que vaya a destinarse el calzado, teniendo en cuenta además el pavimento sobre el que vaya a practicarse.
- La **entresuela**: su espesor y su material deberán ser apropiados para proporcionar buenas características de amortiguación de impactos, aportando además la rigidez suficiente para prevenir inestabilidades del tobillo.
- La **plantilla**: el diseño de la plantilla debe perseguir una distribución óptima de presiones en toda la planta del pie. Especialmente debe evitarse la existencia de puntos de hiperpresión localizados bajo la cabeza de los metatarsos.
- El **contrafuerte**: la función del contrafuerte es prevenir las bruscas supinaciones que se producen en los cambios de dirección y en las paradas laterales durante la práctica deportiva. Deberá presentar una escotadura en su borde superior para evitar el rozamiento excesivo sobre el tendón de Aquiles.
- El **corte**: su función es lograr una correcta sujeción del pie. Cuenta con un cierre cuyos refuerzos no deben situarse sobre la zona de flexión de los dedos ya que puede provocar erosiones en la piel y presiones en los tendones. La lengüeta bajo el sistema de cierre debe estar convenientemente almohadada para prevenir problemas de compresión sobre el empeine.

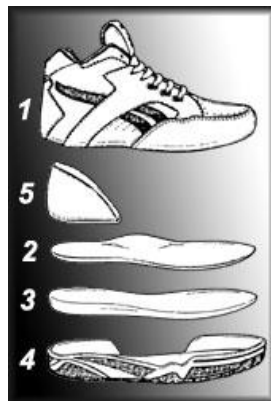


Figura 2.14. Partes que componen el calzado deportivo: 1) corte; 2) plantilla; 3) entresuela; 4) suela; 5) contrafuerte (Ropa y Calzado, 2015).

2.6.3. El calzado deportivo utilizado en la práctica del pádel

En lo que atañe al calzado utilizado por los jugadores de pádel, hasta que este deporte no pasó a ser uno de los más practicados en España y Argentina y empezó a crecer en otros países, los deportistas utilizaban zapatillas diseñadas específicamente para la práctica del tenis.

Sin embargo, existen diferencias entre ambos deportes, principalmente provocadas por las dimensiones de la pista. Por otro lado, los desplazamientos que se realizan en tenis y en pádel son muy diferentes. Mientras que en el tenis los desplazamientos son en su mayoría laterales, en el pádel son hacia delante y laterales, y los saltos tienen una importancia fundamental en el juego, algo que no ocurre en el tenis (El gran paso, del jugador de tenis al de pádel, n.d.). Además, el pádel se juega principalmente sobre césped artificial mientras que el tenis se juega habitualmente sobre tierra batida, hormigón poroso o superficie sintética lisa. Por tanto, las zapatillas destinadas a la práctica de ambos deportes deben presentar características diferentes, principalmente en la suela (Elegir una zapatilla de pádel, n.d.).

En el caso del pádel la **estabilidad** es clave debido a las características del propio juego que, al igual que el tenis, implica desplazamientos laterales que podrían desembocar en una excesiva supinación si la estabilidad del calzado no es adecuada.

Desde el punto de vista de la **amortiguación**, dado que atendiendo a los movimientos propios de cada disciplina deportiva se puede requerir mayor capacidad de amortiguación en la parte delantera o trasera (Stacoff & Kaelin,

1987), es necesario identificar qué movimientos de los realizados durante la práctica del pádel pueden provocar mayores cargas y las zonas del pie en las que el deportista apoya y que, por tanto, requerirán de una mayor capacidad de amortiguación en la suela.

Por otro lado, en relación con la **tracción**, debe considerarse que el diseño de la suela pasará por conocer los movimientos de los jugadores y, por tanto, las zonas en las que los requerimientos de agarre son mayores para asegurar el rendimiento, aunque sin dejar de lado la seguridad de los deportistas. En esta línea se han desarrollado estudios que identifican las zonas en las que se producen mayores presiones plantares en los diferentes movimientos realizados durante la práctica del pádel (Priego et al., 2014), resultados que de momento no han sido aplicados al diseño de las suelas de las zapatillas utilizadas en este deporte.

Las tres tipologías de suelas que existen actualmente en el mercado para la práctica del pádel son las mostradas a continuación (Figura 2.15):



Figura 2.15. Tipologías de suelas de zapatillas para pádel (Tipos de suelas de zapatilla deportiva de pádel, 2015).

Según la información encontrada, las características más destacadas de las tres tipologías de **suelas** de zapatillas mostradas son las siguientes (Tipos de suelas de zapatilla deportiva de pádel, 2015):

- Suela **omni**. Permite un mayor agarre en el inicio de carrera en césped artificial dada la profundidad y la especificidad del dibujo. Debido a que la suela cuenta con tacos, su desgaste es elevado por lo que pierde capacidad de agarre más rápidamente que la suela espiga. Esta suela se diseñó para la práctica del tenis sobre superficies duras y moqueta.
- Suela **espiga**. Permite un mayor deslizamiento durante la práctica del pádel. Sin embargo, la velocidad de arranque durante el juego disminuye levemente con respecto a la suela anterior. Se puede utilizar en cualquier superficie de juego y su desgaste es menor que el de la suela omni. Originariamente esta suela fue diseñada para la práctica del tenis en tierra

batida ya que permite la evacuación de la tierra, a diferencia de la suela omni, cuyas oquedades actúan como depósito del polvo de ladrillo, principalmente cuando está húmedo, disminuyendo la capacidad de agarre de la suela a la superficie deportiva.

- Suela **mixta**. Combina la suela omni y la suela espiga. Presenta una mayor durabilidad debido a que el diseño espiga aparece en las zonas en las que se produce un mayor desgaste durante la práctica del pádel. El diseño omni se coloca en la parte delantera e interior para dotar de un mayor agarre en las salidas de carrera. Su origen es el tenis y se diseñó como solución de compromiso entre omni y espiga para poder utilizarse tanto en superficies duras y moqueta como en tierra batida.

Sin embargo, toda esta información, relacionada con el mayor o menor agarre que ofrecen las diferentes suelas durante la práctica del pádel o el efecto que éstas pueden tener sobre el rendimiento o la seguridad de los deportistas, no está respaldada por estudios científicos.

2.7. Marco normativo

2.7.1. La normalización técnica en el deporte

Una norma es un documento técnico fruto del consenso, basado en los resultados de la experiencia y del desarrollo tecnológico y aprobado por un organismo de normalización reconocido (AENOR, 2015).

De acuerdo a lo especificado por el Consejo Superior de Deportes (CSD, 2015) la normalización técnica en materia de deportes es la actividad de elaboración y revisión de normas en el ámbito del deporte. Es un proceso técnico de carácter voluntario cuyo objetivo es mejorar la calidad de los productos, servicios y empresas, promover la seguridad, permitir el intercambio de los productos y disminuir las barreras al comercio. Es una herramienta para conseguir la calidad considerando la seguridad. La normalización técnica la constituyen las normas/especificaciones técnicas al efecto, que recogen la idoneidad, adaptación a la función y seguridad de los productos mediante una serie de requisitos técnicos a verificar mediante métodos de ensayo.

2.7.2. La normalización técnica en los pavimentos deportivos

2.7.2.1. Normas NIDE

La Normativa sobre Instalaciones Deportivas y para el Esparcimiento (NIDE) está elaborada por el Consejo Superior de Deportes. Esta normativa tiene como objetivo definir las condiciones reglamentarias, de planificación y de diseño que deben considerarse en el proyecto y la construcción de instalaciones deportivas (Normas NIDE - CSD, 2015).

Las normas NIDE se componen de dos tipos: Normas Reglamentarias y Normas de Proyecto. Las Normas Reglamentarias tienen por finalidad normalizar aspectos tales como los dimensionales, de trazado, orientación solar, iluminación, tipo de superficies deportivas y material deportivo no personal, que influyen en la práctica del deporte de que se trate. Estas normas constituyen una información básica para la posterior utilización de las Normas de Proyecto.

En la elaboración de estas normas se han tenido en cuenta los Reglamentos de Juego vigentes de la Federaciones Deportivas correspondientes. Además, se han considerado las normas europeas y españolas existentes en este ámbito (equipamiento deportivo, superficies para deportes, iluminación de espacios para deportes e instalaciones para espectadores). Las Normas Reglamentarias son de aplicación en todos aquellos proyectos que se realicen total o parcialmente con fondos del Consejo Superior de Deportes y en instalaciones deportivas en las que se vayan a celebrar competiciones oficiales regidas por la Federación Deportiva nacional correspondiente. No obstante, es competencia de dicha Federación la comprobación del cumplimiento de dichas normas por parte de la instalación.

Las Normas de Proyecto tienen una triple finalidad:

- Servir de referencia para la realización de todo proyecto de una instalación deportiva.
- Facilitar unas condiciones útiles para realizar una planificación de las instalaciones deportivas, para lo que se definen los usos posibles, las clases de instalaciones normalizadas, el ámbito de utilización de cada una, los aspectos a considerar antes de iniciar el diseño de la instalación deportiva y un procedimiento para calcular las necesidades de instalaciones deportivas de una zona geográfica determinada.
- Identificar las condiciones de diseño consideradas más idóneas para establecer los tipos normalizados de instalaciones deportivas, definiendo los distin-

tos espacios y dimensiones de los mismos, así como las características funcionales y deportivas de los distintos tipos de instalaciones y de sus espacios.

Las Normas de Proyecto, como las Normas Reglamentarias, son de aplicación en todos aquellos proyectos que se realicen total o parcialmente con fondos del Consejo Superior de Deportes y todos aquellos proyectos de instalaciones que se construyan para las competiciones oficiales regidas por la Federación Deportiva nacional correspondiente.

2.7.2.2. *Comités Técnicos de Normalización*

2.7.2.2a. AEN/CTN 147

En la actualidad la normalización técnica en materia de Infraestructuras Deportivas a escala nacional se realiza a través del Comité Técnico de Normalización 147 (CTN 147) en los siguientes ámbitos (AEN - CTN147, 2015):

- Equipos para deportes, campos de juego y otros equipos de recreo, particularmente en lo que se refiere a terminología, las especificaciones de seguridad, la aptitud a la función, los métodos de ensayo, el marcado, la instalación y el mantenimiento, incluidos los equipos de protección individual y colectiva utilizados en actividades deportivas.
- Instalaciones deportivas.
- Gestión y mantenimiento de las instalaciones y recintos deportivos.
- Superficies deportivas.
- Instalaciones para espectadores.
- Instalaciones deportivas para personas con necesidades especiales.

Por ello, la estructura del CTN 147 está configurada por Subcomités (SC) y grupos de trabajo (GT) de acuerdo a lo mostrado a continuación:

- GT1. Gestión y mantenimiento de instalaciones y recintos deportivos.
- SC2. Deportes, campos de juego y otros equipos de recreo.

GT2.1. Piscinas.

GT2.2. Equipamiento deportivo. Equipamiento fijo y móvil: canastas, porterías, aparatos para gimnasia, etc., incluidos los equipos de protección colectiva.

GT2.3. Productos deportivos. Productos y accesorios para la práctica deportiva, incluidos los equipos de protección individual.

- SC3. Superficies Deportivas.
- SC4. Instalaciones para espectadores.

Tanto los subcomités como los grupos de trabajo están compuestos por vocales, los cuales representan a empresas del sector deportivo, centros tecnológicos, laboratorios y federaciones deportivas.

AENOR es el organismo que asume la representación española ante las organizaciones de normalización internacionales ISO e IEC, europeas CEN, CENELEC y ETSI, y la americana COPANT. En ellas participa activamente tanto en los órganos de gobierno como en el desarrollo de los trabajos técnicos (AENOR en el mundo, 2015). Además, asume también la trasposición de las normas internacionales (ISO o EN) a normas nacionales (UNE EN ISO o UNE EN) que consiste en la traducción directa de los documentos elaborados a escala internacional (previa aprobación del comité internacional correspondiente).

En caso de que a escala internacional no exista una normativa de interés nacional, AENOR tiene la potestad, a través de sus subcomités, de elaborar documentos normativos que posteriormente pueden ser traspuestos a escala internacional.

2.7.2.2b. CEN TC 217

CEN es el comité europeo de normalización (*European Committee for Standardization*) para el desarrollo de normas europeas y otros documentos técnicos en relación con diferentes productos, materiales, servicios y procesos. Tiene como objetivo mejorar la seguridad, calidad y fiabilidad de productos, servicios y procesos para servir de apoyo al crecimiento económico y al desarrollo de nuevas tecnologías e innovación. Se trata de una asociación que aúna las organizaciones nacionales de normalización de 33 países europeos (CEN, 2015).

Dentro del CEN existe un comité encargado de la terminología, requisitos de seguridad y operativos, métodos de ensayo, marcajes, instalación y mantenimiento de pavimentos deportivos: el Comité Técnico 217 (*Technical Committee 217*) (*CEN TC 217 Surfaces for sports areas*). Actualmente está compuesto por tres grupos de trabajo (*Working Group, WG*):

- WG 2 *Surfaces of sports halls*.
- WG 6 *Outdoor synthetic surfaces*.
- WG 11 *Test methods*.

Este comité técnico no trabaja sobre pavimentos deportivos destinados a la práctica del pádel dado que solamente cubren la regulación de pavimentos destinados a la práctica de deportes mayoritarios a nivel europeo. Actualmente los deportes considerados mayoritarios que se practican sobre césped artificial son fútbol, rugby, hockey y tenis.

2.7.2.3. Normativa relativa a pavimentos deportivos

La normativa que regula los rangos en que deben encontrarse las diferentes propiedades de los pavimentos deportivos es distinta atendiendo a la tipología del pavimento. Actualmente existen tres normas europeas (transpuestas a normativa nacional) que regulan las propiedades de los pavimentos *indoor*, *outdoor* y de césped artificial:

- *Indoor*: UNE-EN 14904 Superficies deportivas. Suelos multideportivos de interior. Especificación.
- *Outdoor*: UNE-EN 14877 Superficies sintéticas para espacios deportivos de exterior. Especificación.
- Césped artificial: UNE-EN 15330-1 Superficies deportivas. Superficies de hierba artificial y punzonadas principalmente diseñadas para uso exterior. Parte 1: Especificaciones para superficies de hierba artificial para fútbol, hockey, rugby, tenis y uso multideportivo.

Sin embargo, la metodología de ensayo para la evaluación de sus propiedades coincide en todos los casos, así como la estructura de la norma.

La evaluación de los pavimentos deportivos se realiza desde dos perspectivas diferentes: su función técnica y su función deportiva. La función técnica engloba todas aquellas propiedades relacionadas con la durabilidad del pavimento, mientras que la función deportiva abarca aquellas propiedades relacionadas con la interacción entre el deportista y el pavimento y entre el balón/pelota y el pavimento.

En el caso del césped artificial los ensayos que se llevan a cabo para evaluar su función técnica son los siguientes:

- Resistencia de juntas de unión: con el fin de asegurar que la resistencia de la junta (ver apartado 2.5.3.2c) es adecuada teniendo en cuenta la disciplina deportiva a desarrollar sobre el pavimento, se lleva a cabo un ensayo de evaluación de resistencia a rotura de la junta por separación del geotextil de acuerdo a la norma *UNE-EN 12228 Pavimentos deportivos. Determinación de la resistencia de las juntas de los pavimentos sintéticos*. Para ello, previamente la junta es envejecida en agua caliente a 80°C durante 15 días según la norma *UNE-EN 13744 Superficies deportivas. Método de envejecimiento acelerado por inmersión en agua caliente*, con el objetivo de simular la exposición de la junta a la humedad y a temperatura a las que podría estar en condiciones reales de uso.
- Resistencia al envejecimiento climático: dado que en la mayoría de los casos el césped artificial es instalado en exterior, la fibra se somete a exposición

acelerada de radiación UV de acuerdo a la norma *UNE-EN 14386 Superficies sintéticas para espacios deportivos de exterior. Envejecimiento artificial*.

Tras dicha exposición se analiza el efecto de la radiación sobre la fibra, tanto desde el punto de vista de la pérdida de color como de sus propiedades mecánicas de acuerdo a las normas *UNE-EN 20105-A02 Textiles. Ensayos de solidez de color. Parte A02: Escala de grises para evaluar la degradación y UNE-EN 13864 Superficies deportivas. Determinación de la resistencia a tracción de fibras sintéticas* respectivamente.

- Resistencia de arranque de la fibra: analiza la fuerza necesaria para arrancar la fibra de la moqueta con el objetivo de comprobar que el *backing* secundario se ha ejecutado correctamente (ver apartado 2.5.3.2d). El método de ensayo seguido es el expuesto en la norma *UNE-EN 13864 Superficies deportivas. Determinación de la resistencia a tracción de las fibras sintéticas*.
- Granulometría del material de relleno: como se ha comentado en el apartado 2.5.3.2e, la granulometría del material de relleno tiene efecto sobre las propiedades finales del pavimento. La evaluación de la misma se realiza de acuerdo con lo expuesto en la norma *UNE-EN 933-1 Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Métodos del tamizado*.

La evaluación de la función deportiva, como se ha descrito, engloba aquellas propiedades relacionadas con la interacción entre el jugador y el pavimento y el balón/pelota y la superficie de juego. La evaluación de la **interacción entre el deportista y el pavimento** se realiza mediante los siguientes ensayos:

- Amortiguación de impactos: la capacidad de amortiguación de impactos de los pavimentos deportivos se evalúa con un equipo denominado Atleta de Berlín de acuerdo con lo especificado en la norma *UNE-EN 14808 Superficies deportivas. Determinación de la absorción de impactos*. Dicho ensayo analiza la capacidad del pavimento deportivo de reducir las fuerzas de impacto provocado por un deportista durante la carrera o el salto (ver apartado 3.3.1.2a).
- Deformación vertical: la medida de la deformación vertical se lleva a cabo mediante el equipo utilizado en la evaluación de la amortiguación de impactos: el Atleta de Berlín. El ensayo se realiza de acuerdo con lo especificado en la norma *UNE-EN 14809 Superficies deportivas. Determinación de la deformación vertical* y consiste en evaluar el desplazamiento de la superficie del pavimento al someterlo a un impacto del mismo orden de magnitud del impacto provocado por un deportista durante la carrera o el salto.

- Retorno de energía: pese a la importancia de la capacidad de retorno de energía de los pavimentos deportivos, actualmente no existe una metodología de ensayo validada para diferentes tipologías de superficies. Diversos estudios demuestran que la magnitud de la energía perdida por el pavimento depende de la masa del elemento que impacta, de la altura de la que se lanza y de la forma del elemento utilizado (Stefanyshyn & Nigg, 2003). Aunque se han llevado a cabo diferentes ensayos mecánicos (Cavanagh & Lafortune, 1980; Lueth et al., 1987) y biomecánicos (Bowers & Martin, 1973; Junqua et al., 1983; Naunheim et al., 2004) para analizar el retorno de energía de las superficies deportivas, la correlación de los resultados obtenidos mediante los distintos métodos es baja (Nigg & Yeadon, 1987).

Utilizando un modelo de elementos finitos con fuerzas de reacción del pavimento reales durante la carrera se estimó que la energía perdida en un pavimento de atletismo estándar era de aproximadamente 1-2%. El estudio sugiere que la rapidez con la que se produce el impacto del ensayo mecánico no permite el retorno de energía del pavimento. Cabe pensar que las diferentes fases que componen la pisada durante la carrera harían posible que el pavimento devolviera al deportista parte de la energía. Sin embargo no existen estudios que demuestren esta hipótesis (Baroud et al., 1999).

Desde los diferentes comités de normalización a escala mundial se está trabajando en el desarrollo de un ensayo que evalúe el retorno de energía de los pavimentos. Actualmente existe un equipo de ensayo denominado Triple A (*Advanced Artificial Athlete*) que calcula mediante un acelerómetro la reducción de fuerzas, la deformación y el retorno de energía de los pavimentos tras el impacto provocado por una masa dejada caer desde una altura conocida. No obstante, este ensayo no ha sido elevado a norma hasta el momento debido a la gran controversia que existe sobre este parámetro.

- Tracción rotacional: Actualmente se evalúa mediante un equipo que consiste en una masa de 40 kg que se deja caer desde una altura determinada de acuerdo con lo especificado en la norma *UNE-EN 15301-1 Superficies deportivas. Determinación de la resistencia rotacional*. La zona de contacto con la superficie deportiva está equipada con tacos similares a los de las botas de fútbol. Tras dejar caer la masa, mediante una llave dinamométrica se mide el par torsor necesario para hacer girar los tacos con respecto al pavimento deportivo (Figura 2.16). La misma norma añade un apartado específico para superficies en las que los deportistas no utilizan este tipo de calzado y consiste en sustituir los tacos por unos pies de caucho que hay que hacer girar sobre la superficie tras dejar caer la masa desde una altura determinada.



Figura 2.16. Equipo de ensayo para la evaluación de la tracción rotacional sobre superficies deportivas utilizadas con calzado de tacos.

Este ensayo está concebido para la evaluación de la tracción rotacional sobre superficies en las que se utiliza calzado con tacos y se producen movimientos de rotación durante la práctica deportiva (rugby, fútbol, fútbol americano). Sobre pavimentos utilizados con calzado sin tacos no existe ningún ensayo para la evaluación de la tracción rotacional.

- Fricción lineal: esta propiedad se evalúa mediante un equipo denominado Péndulo TRRL de acuerdo con la norma *UNE-EN 13036-4 Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo. Parte 4: Método para medir la resistencia al deslizamiento/derrape de una superficie. Ensayo del péndulo* (ver apartado 3.3.1.2a). Su objetivo es evaluar el agarre entre el pavimento y el calzado.
- Evaluación de la homogeneidad del pavimento: el objetivo de este ensayo es detectar deficiencias en la ejecución de la subbase. La metodología del mismo se expone en la norma *UNE-EN 13036-7 Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo. Parte 7: Medición de las deformaciones localizadas de capas de rodadura de calzadas. Ensayo de la regla* y consiste en pasar una regla de 3 m de longitud por todo el campo y localizar posibles hundimientos mediante una cala calibrada (Figura 2.17).



Figura 2.17. Valoración del hundimiento del campo mediante cala calibrada.

Dependiendo del deporte al que vaya destinado el pavimento, el valor de homogeneidad exigido en la superficie es diferente debido a las propias características del pavimento y el juego. Por ejemplo, en el caso del fútbol y el rugby, este valor es de 6 mm mientras que en las pistas de tenis el valor máximo permitido es de 3 mm.

Desde el punto de vista de la **interacción entre el balón/pelota y el pavimento**, se realizan los siguientes ensayos:

- Rodadura de balón/pelota: analiza la capacidad de retención del balón/pelota por parte de las fibras de la hierba. Dadas las características del juego, este ensayo solamente se realiza sobre pavimentos destinados a la práctica del fútbol y del hockey y consiste en dejar caer el balón/pelota por una rampa para que ruede sobre el pavimento y, una vez se detiene, se mide la distancia alcanzada por el mismo (Figura 2.18).



Figura 2.18. Equipo de ensayo para la evaluación de la rodadura de balón/pelota.

El desarrollo de este ensayo lo regula la norma *UNE-EN 12234 Superficies para áreas deportivas. Determinación del comportamiento a la rodadura del balón* y los requisitos que debe cumplir el pavimento pueden variar dependiendo del deporte o del organismo regulador.

- Bote vertical de balón/pelota: el balón/pelota puede interaccionar con el pavimento deportivo de forma vertical (en caída libre desde una altura determinada) y los jugadores deben ser capaces de predecir la altura que va a alcanzar el balón/pelota tras el impacto contra el pavimento (ver apartado 4.3.1.2a).
- Bote angulado de pelota: la evaluación del bote angulado de pelota se realiza únicamente sobre pistas destinadas a la práctica del tenis y tiene como

objetivo clasificar la velocidad de la pista. El ensayo consiste en lanzar la pelota mediante un cañón (Figura 2.19) con una velocidad y dirección conocidas y medir el ángulo de la pelota antes y después del impacto contra el pavimento, así como la distancia que ha deslizado sobre el suelo durante el contacto (denominado *pace*).

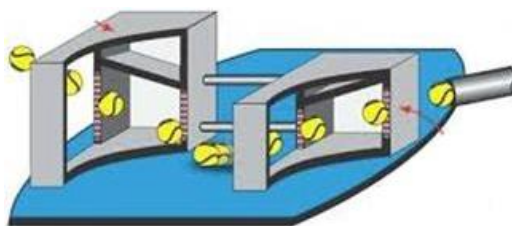


Figura 2.19. Evaluación del bote angulado de pelota (International Tennis Federation, 2015).

El principal problema que presenta este ensayo es que el cañón utilizado no provoca ningún tipo de efecto sobre la pelota, simulando un golpe plano.

2.7.2.3a. Normativa que regula los pavimentos deportivos destinados a la práctica del pádel

Actualmente no existe ninguna norma técnica (ni nacional ni internacional) que regule las propiedades de los pavimentos deportivos destinados a la práctica del pádel.

Sin embargo, dado el espectacular auge que estaba experimentando este deporte a escala nacional y la deficiencia en su regulación, el Consejo Superior de Deportes desarrolló una norma NIDE específica para el mismo. De este modo, el Reglamento de Juego de la Federación Internacional (Reglamento de Juego de la Federación Internacional de Pádel, 2010) y de la Federación Española de Pádel (Reglamento de Juego. Federación Española de Pádel, 2014) se basan en este documento.

La norma NIDE referente a pistas de pádel fue desarrollada en el año 2004 y no ha sido actualizada desde entonces. En el apartado referente a las propiedades de los pavimentos deportivos, hace referencia al informe *UNE 41958 IN Pavimentos Deportivos*, documento ya obsoleto y que ha sido retirado por AENOR debido a la aparición de normas específicas para diferentes tipologías de pavimentos tal como se ha comentado en el apartado 2.7.2.3 de esta tesis doctoral.

Por su parte, con el mismo objetivo de regular las propiedades de las pistas de pádel de césped artificial, la Federación Española de Pádel puso en marcha un

proceso de homologación de superficies de césped artificial destinadas a este deporte basado principalmente en los requerimientos fijados por la norma UNE-EN 15330-1 para tenis (Federación Española de Pádel, 2013). Estos requisitos no se ha demostrado que sean apropiados para la práctica del pádel, deporte que, si bien es próximo al tenis, presenta algunas diferencias en lo que se refiere a los movimientos de los deportistas (El gran paso, del jugador de tenis al de pádel, n.d.) y, por tanto, a su interacción con el pavimento.

Como consecuencia, la documentación técnica que regula los pavimentos deportivos destinados a la práctica del pádel necesita ser revisada y redefinida sobre la base de la normativa vigente en materia de pavimentos deportivos.

2.7.3. La normalización técnica en el calzado deportivo

En la actualidad las normas existentes relativas al calzado se refieren a aspectos dimensionales, de materiales (resistencia, calidad, etc.), metodologías de ensayo y calzado acabado (etiquetado, etc.).

No existe normativa que recoja los aspectos biomecánicos que debe cumplir un calzado. Sin embargo sí se realizan algunas indicaciones relacionadas con la biomecánica del pie en las normas relativas al dimensionado de hormas y de calzado de seguridad (*Guía de recomendaciones para el diseño de calzado (IBV)*, n.d.). Las normas técnicas son orientaciones generales que pueden ser útiles al diseñador si bien en el proceso de diseño del calzado se deben tener en cuenta los criterios señalados a lo largo del apartado 2.6.2 de esta tesis.

Las normas son documentos técnicos cuyo cumplimiento no es obligatorio. En el caso del deporte pueden convertirse en obligatorias si una federación las incluye en su reglamento de juego.

2.7.3.1. Comités Técnicos de Normalización

2.7.3.1a. AEN/CTN 59

Actualmente la normalización técnica en materia de calzado (sin incluir calzado de seguridad) se realiza a través del Comité Técnico de Normalización 59 (CTN 59) en los siguientes ámbitos (AEN - CTN59, 2015):

- Pielés brutas y pielés curtidas.
- Productos de cuero.
- Calzado y sus componentes.

Dicho comité trabaja en la regularización del calzado en relación con sus aspectos de terminología, características y métodos de ensayo, así como los sistemas de medida, designación y marcado. Además, incluye la normalización de maquinaria para la fabricación de productos de cuero y calzado.

Según lo indicado anteriormente, AENOR es el organismo que asume la representación española ante las organizaciones de normalización internacionales ISO e IEC, europeas CEN, CENELEC y ETSI, y la americana COPANT. En ellas participa activamente tanto en los órganos de gobierno como en el desarrollo de los trabajos técnicos ("AENOR en el mundo," 2015). Además, asume la transposición de las normas internacionales (ISO o EN) a normativa nacional (UNE EN ISO o UNE EN), que consiste en la traducción directa de los documentos elaborados a escala internacional (previa aprobación por parte del comité internacional correspondiente).

2.7.3.1b. CEN TC 309/ISO TC 216

En materia de calzado, los comités técnicos internacionales que trabajan sobre terminología, requisitos de seguridad y operativos y métodos de ensayo son el CEN TC 309 y el ISO TC 216.

Este comité técnico no trabaja sobre calzado deportivo de forma específica, al igual que ocurre en el comité espejo nacional nombrado en el apartado anterior (AEN/CTN59). Normativa que regula el calzado deportivo destinado a la práctica del pádel

En el caso específico del pádel, la única indicación relativa a la indumentaria que aparece en el reglamento de juego tanto de la Federación Internacional de Pádel (FIP) (Reglamento de Juego de la Federación Internacional de Pádel, 2010) como de la Federación Española de Pádel (FEP) (Reglamento de Juego. Federación Española de Pádel, 2014) es que debe ser calzado deportivo:

- El jugador deberá presentarse a jugar con ropa y calzado deportivo adecuados, no permitiéndose camisetas de tirantes ni trajes de baño. En caso de no cumplirlo será advertido de la falta, debiendo subsanarla y, si no lo hiciere, será descalificado.
- En las competiciones por equipos se recomienda que los jugadores lleven la misma vestimenta, aunque no es obligatorio.
- Los jugadores pueden utilizar el calzado, vestimenta y palas que deseen, siempre que sean reglamentarias.
- En los torneos internacionales el equipo arbitral deberá vestir una indumentaria que permita su identificación.

No existe ninguna referencia a cuál debe ser el diseño de la suela del calzado para una práctica segura de este deporte.

2.7.4. Proceso de desarrollo de una norma técnica

El proceso de desarrollo de una norma técnica se inicia debido a la detección de una necesidad de regular propiedades de productos, instalaciones, procesos productivos, etc., dependiendo del ámbito de normalización.

La activación de dicho proceso se realiza a través de los vocales de los diferentes subcomités, principalmente por parte de las empresas que utilizan las normas como argumento de venta para sus productos. En este sentido, los vocales comunican a la secretaría y la presidencia del subcomité correspondiente su interés en desarrollar una norma para regular las propiedades de un producto determinado o un proceso productivo. La secretaría de dicho subcomité eleva la petición al comité europeo correspondiente con el objetivo de valorar el interés que a nivel internacional tiene la regulación de aspecto concreto identificado por la empresa. En caso de que el comité europeo identifique una necesidad a nivel internacional en esa línea, se iniciará el proceso de desarrollo de la norma en el marco del CEN correspondiente. En caso contrario, es el organismo regulador nacional el encargado de llevar a cabo el desarrollo del documento técnico.

En el primer caso, la secretaría del subcomité (SC) nacional identificará junto a los vocales a los miembros del SC que actuarán como expertos en el grupo de trabajo formado a nivel europeo para trabajar en el desarrollo de la norma.

En el segundo caso, la secretaría creará un grupo de trabajo para el desarrollo de la norma a nivel nacional con aquellos vocales del SC que lo deseen y generará un primer borrador que circulará al grupo de trabajo y a partir del cual se iniciará el proceso de desarrollo de la norma. Dicho documento se enriquecerá entre todos los miembros del grupo de trabajo y permanecerá en desarrollo hasta que se llegue a un consenso en el alcance del mismo. Tras dicho acuerdo, es enviado a todos los miembros del SC y en caso de que no exista oposición en ningún aspecto el documento es enviado a AENOR, que procede a su publicación en el BOE durante 6 meses. Pasado este periodo, en caso de recibirse comentarios se inicia de nuevo el proceso de aprobación por parte de los miembros del SC; en caso contrario, el documento es elevado a norma nacional. Tras la publicación de la norma es posible trasponer la norma a nivel europeo en caso de que el CEN correspondiente lo considere de interés.

La siguiente figura muestra de forma gráfica el proceso descrito para la elaboración de una norma técnica (Figura 2.20):

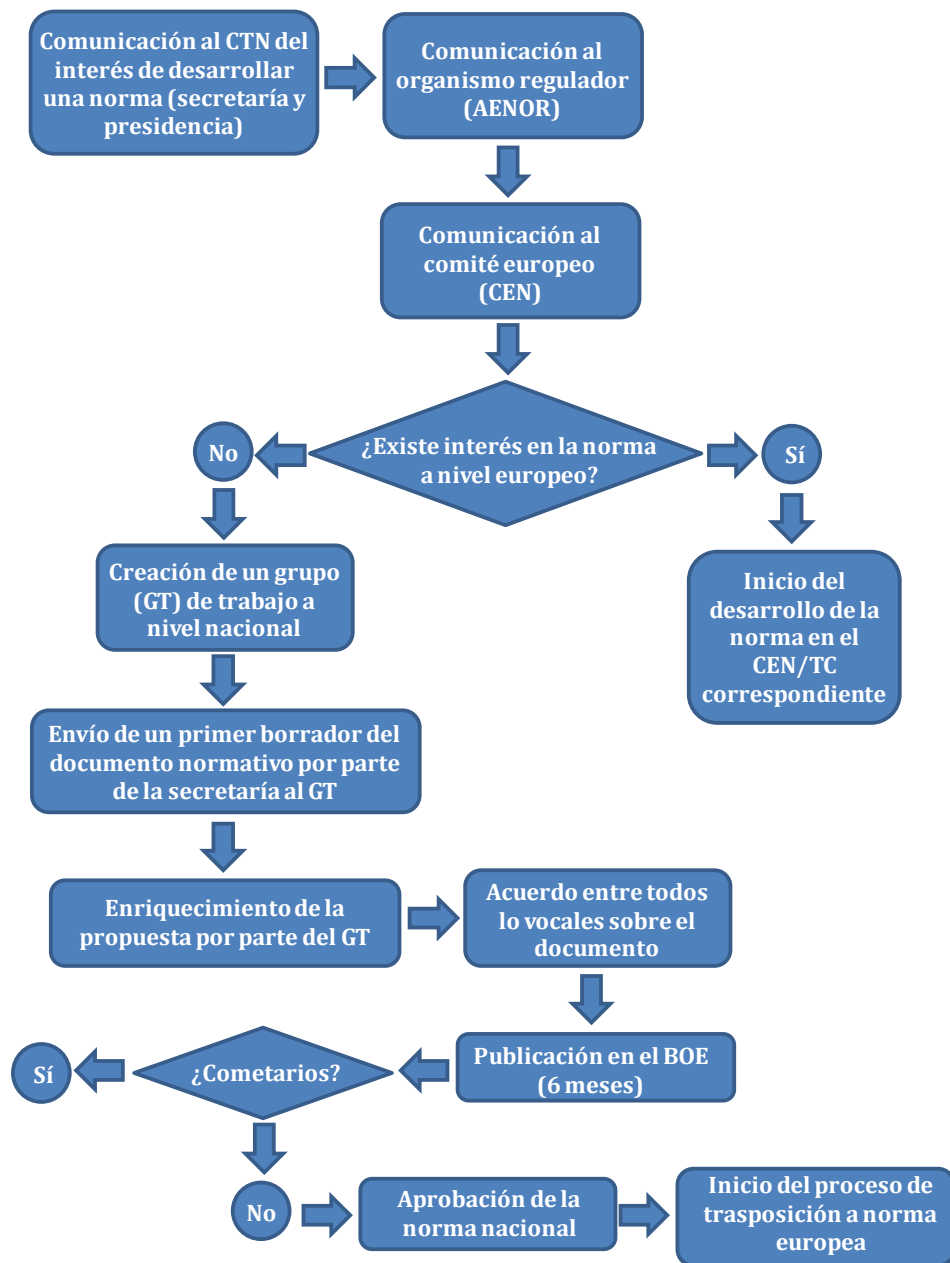


Figura 2.20. Proceso de desarrollo de una norma técnica.

2.8. Conclusiones del análisis del estado del arte

A partir del estado del arte mostrado a lo largo de este capítulo, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- El número de personas que practican pádel en España ha aumentado de forma considerable en los últimos años y se está vislumbrando un aumento de la práctica también a nivel europeo.
- En el único estudio epidemiológico publicado sobre pádel se ha detectado una alta incidencia de lesiones en miembro inferior.
- Se ha identificado una inadecuada interacción entre el pavimento y el deportista (o el calzado) como una causa de lesión en otros deportes.
- La incidencia en otros deportes de raqueta de lesiones en miembro inferior se ha relacionado principalmente con la técnica del deportista en la ejecución de los diferentes golpes.
- Existen muy pocos estudios científicos desarrollados en torno al pádel en general y a la interacción del deportista con el pavimento en particular. Esto conlleva que no se cuente con conocimiento sobre las propiedades que deben evaluarse en los pavimentos destinados a la práctica de esta disciplina deportiva.
- Se utiliza el tenis como deporte de referencia para fijar las propiedades del pavimento deportivo destinado al pádel, sin haberse analizado a fondo las diferencias o similitudes entre ambos deportes.
- Del mismo modo, las zapatillas utilizadas para la práctica del pádel han sido diseñadas a priori para la práctica del tenis y no se han tenido en cuenta los requerimientos específicos del pádel para el diseño de la suela. Actualmente se comercializan diferentes modelos de suela para la práctica de este deporte sobre césped artificial sin conocer en profundidad su adecuación para el mismo atendiendo tanto al deporte en cuestión como a la superficie de juego.
- No existe una norma técnica que regule las propiedades que deben presentar los pavimentos de césped artificial destinados a la práctica del pádel, tanto desde el punto de vista de sus características deportivas como técnicas que garanticen la seguridad y el rendimiento de los deportistas a lo largo del tiempo.

Capítulo 3

Objetivos y plan de trabajo

Resumen del capítulo:

En este capítulo se presentan los objetivos de la tesis identificados a partir de las conclusiones obtenidas del análisis estado del arte, lo que ha permitido identificar el punto de partida a partir del cual trabajar para alcanzar el objetivo principal de la tesis: elaborar una propuesta de norma que regule los pavimentos de hierba artificial para la práctica del pádel, anunciado en el capítulo correspondiente a la introducción. Posteriormente se describe el plan de trabajo a desarrollar para alcanzar dichos objetivos, así como el modo en que se ha organizado la tesis.

3.1. Objetivos

Como se ha indicado en el capítulo correspondiente a la introducción (Capítulo 1), el objetivo principal de esta tesis es el desarrollo de una propuesta de norma técnica que regule las propiedades que deben presentar los pavimentos deportivos de césped artificial destinados a la práctica del pádel.

Para alcanzar dicho propósito, teniendo en cuenta el estado del arte actual, se plantean los siguientes objetivos parciales:

- Identificar los gestos deportivos más relevantes del juego del pádel (tanto por su frecuencia como por su posible efecto sobre la seguridad y/o el rendimiento de los deportistas).
- Identificar las propiedades que deben tenerse en cuenta para la evaluación de los pavimentos deportivos destinados a la práctica del pádel así como los ensayos a llevar a cabo para su análisis.
- Definir un protocolo de medida de las diferentes propiedades.
- Identificar los rangos en los que deben encontrarse las propiedades mecánicas del pavimento para garantizar la seguridad y el rendimiento de los deportistas.
- Validar los rangos establecidos desde el punto de vista de la valoración subjetiva de los deportistas.
- Analizar el efecto del calzado sobre la percepción de los deportistas con respecto a las propiedades del pavimento de césped artificial durante la práctica del pádel.
- Desarrollar un documento normativo que incluya tanto las propiedades deportivas que debe tener el pavimento como los aspectos técnicos que garanticen que dichas propiedades se mantendrán a lo largo del tiempo.

3.2. Plan de trabajo

Con el fin de alcanzar los objetivos parciales y, por tanto, el objetivo final de la tesis, su desarrollo se organizó en las siguientes cuatro fases:

1. Selección de los ensayos a realizar. Durante esta fase se identificaron los gestos más relevantes desde el punto de vista de la salud y el rendimiento de los deportistas que implican interacción entre el deportista y el pavimento y entre la pelota y la superficie de juego durante la práctica del pádel. A partir de dicha información, se identificaron los ensayos normativos utilizados para la evaluación de las diferentes interacciones detectadas.

2. Identificación de los valores de referencia. Una vez seleccionados los ensayos a realizar, se definió un protocolo de evaluación y se llevó a cabo un estudio de campo que consistió en el análisis de las propiedades deportivas de pavimentos de césped artificial para la práctica del pádel desde un punto de vista mecánico y subjetivo. A partir de los resultados de dicho estudio, se fijaron los valores de referencia de las diferentes propiedades evaluadas.
3. Validación de los valores de referencia. En esta fase del estudio se procedió a la validación de los valores de referencia identificados como adecuados para la práctica del pádel.
4. Desarrollo de una propuesta de norma técnica. Finalmente se procedió a la elaboración de un borrador de documento técnico para la evaluación de las propiedades de los pavimentos deportivos de césped artificial destinados a la práctica del pádel sobre la base de los resultados obtenidos.

La siguiente figura muestra de forma esquemática la organización del plan de trabajo para el cumplimiento de los objetivos propuestos en la investigación (Figura 3.1):



Figura 3.1. Esquema del plan de trabajo.

3.3. Organización y desarrollo de la tesis

La memoria de esta tesis doctoral está organizada en torno al trabajo desarrollado para lograr los objetivos señalados de acuerdo a las fases descritas en el apartado anterior. Dicho trabajo se ha estructurado en siete capítulos.

En el **capítulo 1** se describe la motivación de esta tesis, presentando la evolución en los últimos años de la práctica de actividad física de la población española en general y del pádel en particular, así como la ausencia de un marco normativo que regule las propiedades de las instalaciones destinadas a esta disciplina deportiva.

En el **capítulo 2**, relativo al estado del arte, se realiza una exposición del conocimiento existente acerca de la importancia de la interacción entre el calzado y el pavimento desde el punto de vista tanto de la salud como del rendimiento de los deportistas. Se presentan de forma detallada las distintas tipologías de pavimentos deportivos y la evolución del césped artificial desde sus inicios, como pavimento más utilizado en las instalaciones destinadas a la práctica del pádel. Además, se muestran las tipologías de zapatillas empleadas para la práctica de este deporte. Finalmente, se hace referencia a los organismos y a las normas técnicas vigentes que regulan las especificaciones de los pavimentos y el calzado deportivo, así como a los ensayos utilizados para evaluar sus propiedades.

En el **capítulo 3** se exponen los objetivos, el plan de trabajo y la organización de la tesis.

El **capítulo 4** detalla la metodología seguida para alcanzar cada uno de los objetivos expuestos. Se divide en tres apartados principales:

- (1) Selección de los ensayos a realizar para evaluar las propiedades de los pavimentos destinados al pádel teniendo en cuenta las características propias de esta disciplina deportiva. En este punto se analizan los movimientos y golpes de pelota más relevantes de este deporte, tanto por su frecuencia como por el efecto que pueden tener sobre la seguridad y el rendimiento de los jugadores. Posteriormente, se identifican los ensayos normativos que evalúan el modo de interacción calzado-pavimento y pelota-pavimento teniendo en cuenta los gestos determinados.
- (2) Identificación de los valores de referencia de cada una de las propiedades a partir de la valoración subjetiva de los deportistas.
- (3) Validación de los valores de referencia identificados. Para ello se realizó una evaluación subjetiva de las propiedades de diferentes pistas en dos

condiciones diferentes: tras la disputa de una partido real y tras la realización de un circuito controlado utilizando diferentes tipologías de calzado (con el objetivo de identificar el efecto que tiene en la percepción de los deportistas sobre la interacción con la superficie de juego).

- (4) Desarrollo de una propuesta de norma técnica. A partir de las propiedades a evaluar y los valores de referencia identificados se elaboró una propuesta de norma técnica.

En cada uno de estos apartados se detalla el proceso seguido, desde la identificación de la muestra necesaria hasta el tratamiento estadístico de los resultados, pasando por la toma de datos (tanto a través de encuestas como de ensayos mecánicos y biomecánicos).

En el **capítulo 5** se exponen los resultados obtenidos en cada uno de los estudios realizados. Estos resultados han dado lugar a la propuesta de una norma técnica que regula las propiedades que debe presentar un pavimento deportivo de césped artificial destinado a la práctica del pádel y que puede consultarse en el Anexo V de este documento.

En el **capítulo 6**, correspondiente a la discusión, se compara de forma crítica el trabajo desarrollado en esta tesis con los trabajos llevados a cabo en estudios equivalentes o con enfoques similares. En dicha comparación se resaltan las principales aportaciones del estudio realizado y se describen sus limitaciones.

Finalmente, el **capítulo 7** recoge las conclusiones extraídas y se resumen de forma global las aportaciones de la tesis en relación con los objetivos planteados. Además se enumeran las principales acciones que deberían emprenderse para superar las limitaciones citadas en el apartado de discusión y se señalan trabajos futuros que contribuirían a la mejora de la interacción entre el calzado y el pavimento deportivo destinado a la práctica del pádel, tanto desde el punto de vista de la seguridad como del rendimiento de los deportistas.

La memoria termina con la lista de referencias bibliográficas citadas y los anexos correspondientes a la información generada durante el desarrollo de la tesis cuya descripción se cita a lo largo del documento.

Capítulo 4

Material y métodos

Resumen del capítulo:

En este capítulo se describe de manera pormenorizada la actividad realizada en cada una de las fases del plan de trabajo definido en el capítulo anterior. En primer lugar se desarrolla la metodología seguida para la selección de los ensayos a realizar sobre pistas de pádel atendiendo a los requerimientos de este deporte. Posteriormente se describe el estudio de campo llevado a cabo para la identificación de los valores de referencia de las propiedades medidas y el proceso seguido para validar dichos valores desde el punto de vista del rendimiento y de la valoración subjetiva de los deportistas. Finalmente se expone el trabajo realizado para la elaboración de una propuesta de norma técnica a escala nacional que regule las propiedades que debe presentar un pavimento de césped artificial destinado a la práctica del pádel. El trabajo descrito en este capítulo fue aprobado por el Comité de Ética de la Universitat Politècnica de València.

4.1. Introducción

Los ensayos a realizar sobre los pavimentos de césped artificial para la práctica del pádel y los valores de referencia de las diferentes propiedades evaluadas deben garantizar la seguridad y el rendimiento de los jugadores. Con este propósito, la identificación de las propiedades a evaluar y de los rangos en que deben encontrarse los resultados de dichas evaluaciones pasa por conocer el modo de interacción de los deportistas y la pelota con la superficie de juego. Por tanto el trabajo se dividió en las cuatro fases descritas en el apartado anterior.

A continuación se describe de forma detallada la metodología seguida para el desarrollo de cada una de las cuatro fases.

4.2. Fase 1. Selección de los ensayos a realizar

4.2.1. Diseño metodológico

Los ensayos destinados a la evaluación de las propiedades deportivas de los pavimentos deportivos se distinguen en dos grandes bloques: los encargados de evaluar la interacción entre el deportista y el pavimento, y los que analizan la interacción entre la pelota y la superficie de juego. En ambos casos los ensayos deben reproducir en la medida de lo posible el modo en que el deportista y la pelota interacciona con la superficie durante la práctica de la disciplina deportiva a la que esté destinada.

Por tanto, el trabajo desarrollado en esta fase consistió en las siguientes tareas:

1. Identificación de los gestos deportivos más relevantes (tanto desde el punto de vista de su frecuencia como de su potencial efecto sobre la salud y el rendimiento de los deportistas) que implican una interacción entre el calzado y el pavimento y entre la pelota y la superficie de juego durante la práctica del pádel.
2. Selección de los ensayos normativos relacionados con los gestos identificados considerados más relevantes.

4.2.2. Identificación de los gestos deportivos más relevantes durante la práctica del pádel

4.2.2.1. Análisis de la frecuencia de realización de los diferentes gestos

Durante el desarrollo de esta tarea se identificaron los gestos más frecuentes del pádel, distinguiendo entre aquellos que suponen una interacción entre el pavimento y el calzado o la pelota.

El artículo “Biomecánica y Patomecánica en la Práctica del Pádel” (García Ace-do & Ares Bella, 2007) clasifica los movimientos de los deportistas durante la práctica del pádel de la siguiente manera:

- **Desplazamientos laterales/frontales:** acciones en las que se realiza un desplazamiento en sentido trasversal (derecha/izquierda) o longitudinal (adelante/atrás).
- **Carrera corta:** el deportista se desplaza hacia adelante a velocidad máxima una distancia reducida (debido a las limitaciones dimensionales de las pistas de pádel).
- **Giro:** el cuerpo gira sobre un punto de apoyo (generalmente el antepié).
- **Salto:** acción en la que el deportista despega los dos pies del suelo para realizar un movimiento ascendente. En el caso del pádel este movimiento se asocia normalmente a un remate.
- **Split-step:** movimiento consistente en pequeños saltos realizados con el antepié que busca estabilizar y mantener tensión en las extremidades inferiores para contar con una mayor capacidad de reacción.

En lo que se refiere al modo de interacción de la pelota con el pavimento, según los estudios publicados (González-Carvajal, 2005), los golpes realizados por los jugadores se pueden clasificar en:

- **Drive/revés:** consiste en golpear la pelota después del bote, de forma directa, en el mismo lado o en el lado contrario del brazo hábil del jugador.
- **Globo:** golpe ejecutado desde el fondo de la pista que consiste en superar a los rivales por encima para lograr que se retrasen hasta la posición defensiva.

- **Remate:** golpe que se ejecuta por encima de la cabeza con un movimiento descendente de la pala. Suele ser la respuesta a un globo realizado por el oponente que no tuvo la suficiente altura para superar a los rivales.
- **Bandeja:** este golpe se realiza como respuesta a un globo corto que no puede responderse con un remate por encontrarse en una posición incómoda.
- **Volea:** los deportistas golpean la pelota cerca de la red antes que contacte con la superficie de juego.

Dentro de cada uno de estos golpes (excepto en el caso de la volea) distinguen entre: golpes directos (aquellos en los que la pelota pasa al campo contrario sin interaccionar con la pared) y golpes indirectos (la pelota toca la pared antes de pasar a campo contrario).

A partir de esta información se procedió a analizar la frecuencia con que se producían cada uno de estos gestos durante la práctica del pádel. Para ello se llevó a cabo la observación de los vídeos de cuatro partidos de la competición "Pádel Pro Tour", cada uno de los cuales tuvo una duración aproximada de 70 minutos, incluyendo los tiempos de pausa (cambios de pista y paradas entre saques). Cada partido fue visualizado en dos ocasiones, analizándose la primera vez los gestos que implicaban una interacción entre el calzado y el pavimento, y la segunda los golpes de pelota.

Siguiendo la clasificación descrita, los movimientos analizados que implican una interacción entre el calzado y el pavimento fueron los mostrados a continuación:

- Desplazamientos: clasificados en laterales, frontales (incluyendo carrera corta) y hacia atrás.
- Giros: pivotando sobre el pie derecho y pivotando sobre el pie izquierdo.
- Saltos: clasificados en saltos con remate y *split-steps*.

Y de acuerdo a los golpes de pelota a los que más recurrían los jugadores de pádel, se analizaron los siguientes:

- *Drive*/revés (directo e indirecto).
- Bandeja (directa e indirecta).
- Remate (directo e indirecto).
- Globo (directo e indirecto).
- Volea (directa).

Se anotó en una plantilla las veces que cada deportista realizaba los diferentes movimientos indicados durante la disputa de los partidos. Posteriormente se obtuvo el valor medio del número de repeticiones de cada uno de los movimientos y el porcentaje que suponía cada uno de ellos con respecto a los movimientos totales en cada partido.

Tanto los giros como los desplazamientos laterales se analizaron conjuntamente, independientemente del pie de apoyo sobre el que se realizara el desplazamiento, al igual que los estudios encontrados, en los que no se consideraba el pie de apoyo para llevar a cabo el análisis de los movimientos (Damm et al., 2014; Stiles & Dixon, 2006; Stussi et al., 1989; Ura et al., 2014).

En lo que afecta a los golpes de pelota, se anotó en una plantilla las veces que los deportistas realizaban los diferentes golpes nombrados y se obtuvo una media del número de ejecuciones de cada uno de ellos por partido. Posteriormente se obtuvo el porcentaje que suponían con respecto al número total de golpes.

4.2.2.2. *Análisis de la importancia de los diferentes gestos desde el punto de vista de la salud y el rendimiento de los deportistas*

Con el objetivo de conocer la importancia de cada uno de los gestos identificados sobre el rendimiento y la salud, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de estudios centrados en otros deportes en los que se analizaba esta relación, dado que no existen estudios similares sobre pádel. Se revisaron las fuentes de información diferenciadas y complementarias que se citan y describen a continuación:

- MEDLINE/PubMed: motor de búsqueda de libre acceso que incluye un amplio número de resúmenes y citas indexadas de distintas áreas de conocimiento.
- SCOPUS: base de datos bibliográfica de resúmenes y citas de artículos de revistas científicas sobre tecnología, medicina, ciencia, etc.
- GoogleScholar: buscador que permite el acceso a un conjunto de bases de datos en las que se pueden encontrar artículos científicos y libros sobre un amplio abanico de campos de conocimiento.
- SPORTDiscus: base de datos bibliográfica sobre salud y deporte. Algunas de las áreas que cubre son Biomecánica, Ciencias del Movimiento, Rehabilitación, Medicina Deportiva, etc.

Las palabras clave utilizadas fueron: pádel, superficies deportivas, tenis, lesiones, interacción calzado-superficie y estrategia deportiva.

A partir de la información localizada se fijó la importancia de los diferentes gestos sobre el rendimiento y la salud del practicante de pádel tal y como sigue:

- Salud: se consideró que la importancia era alta si existían evidencias de su relación con lesiones en pádel o en otras disciplinas deportivas. En caso contrario, se consideró que la relevancia era baja.
- Rendimiento: del mismo modo que en el caso de la salud, se consideró que la importancia de un gesto en relación con el rendimiento era alta si existían evidencias científicas que así lo probaban en el caso del pádel o en otras disciplinas deportivas; en caso contrario se consideró que la relevancia era baja.

4.2.2.3. Selección de los gestos más representativos

Finalmente, a partir de la información obtenida tanto de la frecuencia de realización de los gestos como de su potencial efecto sobre el rendimiento y la salud, se seleccionaron los gestos más relevantes que implican una interacción entre el calzado y el pavimento y la pelota y la superficie de juego, que fueron identificados como movimientos y golpesos respectivamente.

El proceso seguido para concluir estos gestos como los más relevantes durante la práctica del pádel se describe de forma detallada en el apartado 4.2.2 correspondiente al capítulo de resultados. Sin embargo, a modo de introducción y con el objetivo de lograr una mayor comprensión de los apartados siguientes, cabe indicar que los gestos identificados como más relevantes fueron los siguientes:

- Movimientos: **desplazamiento lateral, desplazamiento frontal, salto con remate, split-step.**
- Golpes de pelota: **globo.**

4.2.3. Selección de los ensayos a realizar

Para la identificación de los ensayos a realizar se siguieron los criterios mostrados a continuación:

- Que **simularan**, en la medida de lo posible, los **movimientos seleccionados** desde el punto de vista de la fuerza aplicada por los deportistas, la velocidad de ejecución de los mismos, etc.

- Que **simularan**, en la medida de lo posible, el **golpe seleccionado** desde el punto de vista de la velocidad de la pelota, el efecto provocado sobre la misma por el modo en el que los deportistas ejecutan el golpe, etc.
- Que fueran **ensayos normativos**. De la regularización de las propiedades de los pavimentos deportivos se encarga, como se ha comentado en el capítulo relativo al estado del arte, el comité europeo de normalización CEN/TC217 (ver apartado 2.7.2.2), que identifica las propiedades que deben cumplir las superficies destinadas a deportes mayoritarios (en el caso del césped artificial: fútbol, rugby, hockey y tenis). Sin embargo, no considera deportes como el pádel, minoritario a escala europea. En concreto, la norma que regula las propiedades de los pavimentos deportivos de césped artificial es la *EN 15330-1 Surfaces for sports areas. Synthetic turf and needle-punched surfaces primarily designed for outdoor use. Specification for synthetic turf surfaces for football, hockey, rugby union training, tennis and multi-sports use*, que fue traspuesta a norma nacional en el año 2010 (*UNE-EN 15330-1 Superficies deportivas. Superficies de hierba artificial y punzonadas principalmente diseñadas para uso exterior. Parte 1: Especificaciones para superficies de hierba artificial para fútbol, hockey, rugby, tenis y uso multideportivo*) y es en la que se basa esta tesis, entre otras, para definir los ensayos a realizar sobre los pavimentos de césped artificial destinados a la práctica del pádel, dado que la tendencia es utilizar los mismos métodos de ensayo (en la medida de lo posible) para los pavimentos destinados a la práctica de diferentes deportes.

Aunque todo el proceso llevado a cabo para la selección de los ensayos a realizar se describe detalladamente en el capítulo de resultados (apartado 4.2.3), a modo de resumen y como punto introductorio necesario para la fase siguiente se citan a continuación los ensayos seleccionados:

- **Amortiguación de impactos:** analiza la capacidad del pavimento deportivo de reducir las fuerzas de impacto provocado por un deportista durante la carrera o el salto. La norma que regula la evaluación de esta propiedad es la UNE-EN 14808.
- **Fricción lineal:** su objetivo es evaluar el agarre entre el pavimento y el calzado durante el inicio de carrera o una parada lateral. La norma que regula el método de ensayo a llevar a cabo para analizar esta propiedad es la UNE-EN 13036-4.

- **Bote vertical de pelota**, analiza la interacción entre la superficie de juego y la pelota en caída libre, simulando el contacto entre ambas tras la ejecución de un globo. La norma que regula el procedimiento de este ensayo es la UNE-EN 12235.

4.3. Fase 2. Identificación de los valores de referencia

4.3.1. Estudio de campo

Una vez identificados los ensayos se diseñó el estudio de campo para la identificación de los valores de referencia de las propiedades deportivas de los pavimentos para pádel. Con tal objetivo, se llevaron a cabo las siguientes tareas:

1. **Selección de las pistas a evaluar.** Teniendo en cuenta la tipología de pavimento más común en las instalaciones de pádel y del efecto que el uso y las condiciones meteorológicas tienen sobre sus propiedades, se seleccionaron las pistas sobre las que llevar a cabo el estudio.
2. **Evaluación de las propiedades mecánicas.** En primer lugar se definió el protocolo de ensayo para su evaluación de acuerdo a los procedimientos de los ensayos identificados en el apartado anterior y las normas vigentes. Posteriormente se evaluaron las propiedades mecánicas de las pistas seleccionadas.
3. **Evaluación de la percepción de los deportistas.** Se definió y validó una encuesta para recabar la percepción de los deportistas con respecto a las propiedades medidas. Tras entrevistar a un número suficiente de deportistas, se identificaron los valores de referencia a partir de las opiniones expresadas por los jugadores.

A continuación se describen en detalle cada una de las tareas indicadas.

4.3.1.1. Selección de las pistas a evaluar

Según el último censo nacional de instalaciones deportivas (Gallardo, 2007), en 2005 el número de pistas ascendía a 2271, de las cuales el 93% (2112 pistas) eran de césped artificial, aunque en dicho documento no se especifica la tipología concreta (material de la fibra, longitud, etc.). El 7% de las pistas restantes contaban con pavimentos sintéticos o de hormigón poroso. Por tanto, teniendo en cuenta que la gran mayoría de las instalaciones cuentan con pavimento de césped artificial, el principal criterio de selección de las pistas para llevar a cabo el estudio fue que dispusieran de este tipo de superficie de juego.

A este respecto, el tipo de césped que se instala en las pistas de pádel está compuesto por fibras de entre 10 y 20 mm, fibrilada o monofilamento plano o con forma cóncava, en S, etc., dependiendo del fabricante. Normalmente se instala sin capa elástica y la cantidad de material de relleno es de aproximadamente el 95% de la longitud total de la fibra.

En segundo lugar, como se ha comentado en el apartado correspondiente al estado del arte, el uso y la exposición a los agentes meteorológicos provocan la pérdida de propiedades deportivas del césped artificial (Franco, 2008). Además, la tipología y forma de la fibra y su longitud afectan a las propiedades finales del pavimento (Alcántara, 2009; Sánchez, 2014). Por tanto, el proceso de selección tuvo en cuenta que las pistas objeto de estudio hubieran sido instaladas en exterior en fechas diferentes y contaran con tipologías y longitudes de fibra distintas, de forma que tanto la exposición a los agentes meteorológicos y al uso como sus características hubieran provocado que las pistas presentaran propiedades diferentes. No se incluyeron pistas en diferentes zonas climáticas o instaladas en interior o exterior debido a que el objetivo no era analizar el efecto de los agentes meteorológicos sobre el césped artificial para pádel sino estudiar pistas que hubieran perdido prestaciones en distinta medida dependiendo del tiempo de exposición a la acción de dichos agentes.

A través de la Federación Española de Pádel (FEP) se contactó con la Federación de Pádel de la Comunidad Valenciana (FPCV), que facilitó a la investigadora información relativa a las instalaciones de pádel ubicadas en esta comunidad autónoma, el tipo de pavimento con que contaban y la fecha de instalación.

A partir de esta información se seleccionaron tres instalaciones de la Comunidad Valenciana que disponían de pistas con las siguientes características:

- Césped artificial de tipologías diferentes: distinto tipo y longitud de fibra.
- Instaladas en exterior en años diferentes con el objetivo de garantizar que los agentes meteorológicos hubieran afectado de forma distinta a sus propiedades deportivas por una mayor exposición de unas con respecto a las otras.
- Pistas con usos semanales similares de forma que, al haber sido instaladas en años distintos, se garantizara que unas habían sido sometidas a mayor uso que otras.

La siguiente tabla muestra las características de las pistas correspondientes a las instalaciones seleccionadas y el número de pistas de cada instalación incluidas en el estudio:

Tabla 3.1. Características de las pistas seleccionadas.

Instalación	A	B	C
Provincia	Valencia	Valencia	Valencia
Número de pistas	5	4	2
Año de instalación	2006	2009	2011
Ubicación pistas	Exterior	Exterior	Exterior
Uso semanal (h)	> 60	> 60	> 60
Tipo de pavimento	Césped artificial	Césped artificial	Césped artificial
Tipo de césped	Fibrilado	Monofilamento	Monofilamento
Longitud fibra(mm)	11	13	13
Forma de la fibra	Plana	Cóncava	Plana
Material de relleno	Arena	Arena	Arena
Espesor relleno (% longitud fibra)	98%	95%	95%
Capa elástica	No	No	No

En total se ensayaron 11 pistas pertenecientes a tres instalaciones diferentes.

4.3.1.2. Evaluación de las propiedades mecánicas

4.3.1.2a. Definición del protocolo de medida

El protocolo de medida definido incluye la identificación de los siguientes aspectos:

- Las zonas a evaluar dentro de la pista, teniendo en cuenta cuáles son las más usadas por los deportistas durante la práctica del pádel según la literatura encontrada. No obstante, la necesidad de evaluar las zonas identificadas se validará a posteriori a partir de la valoración de la existencia de diferencias significativas entre ellas mediante un análisis de la varianza (ANOVA) por el procedimiento Modelo Lineal General Univariante y estableciendo un nivel de significación $p < 0.05$.
- El número de repeticiones a realizar de cada ensayo seleccionado sobre las diferentes zonas, de acuerdo a lo estipulado por la norma técnica que regula cada uno de ellos.
- El rango en que debe encontrarse la temperatura ambiente para que los ensayos se consideren válidos, según las normas vigentes.
- El procedimiento de cálculo del resultado final, atendiendo a las normas técnicas que regulan los diferentes ensayos realizados.

En relación con las **zonas a evaluar** dentro de las pistas, dado que el uso provoca la pérdida de propiedades del pavimento, las zonas más usadas durante

la práctica del pádel debían ser objeto de análisis. Como se ha indicado en el apartado 2.2, correspondiente al estado del arte, el desarrollo del juego se realiza principalmente en dos zonas: la ofensiva y la defensiva (Sánchez-Alcaraz, 2013) (Figura 4.1).

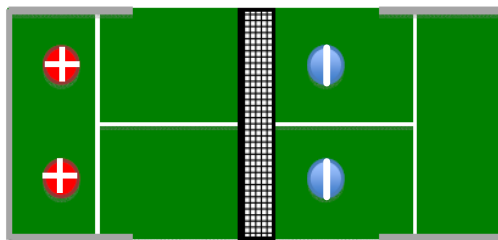


Figura 4.1. Posición defensiva (puntos rojos-cruz blanca) y posición ofensiva (puntos azules-línea vertical blanca) durante el juego del pádel.

Por tanto, aunque dado el reducido tamaño de las pistas de pádel y que es un deporte practicado por parejas toda la superficie de juego es sometida a un uso intenso, las zonas de ataque y defensa (Figura 3.1) son las más utilizadas.

El criterio seguido para la selección de las zonas a evaluar atendiendo a los usos coincide con el utilizado por la normativa UNE-EN 15330-1 para la selección de las zonas a evaluar en las pistas de tenis (ver apartado 6.3).

Además, se debían cubrir ambas partes de la pista, dado que es posible que defectos en la instalación o en la construcción de la subbase generen diferencias en las características finales de la pista. Por tanto, las zonas seleccionadas para realizar la evaluación de las pistas de pádel son las mostradas a continuación (Figura 4.2):

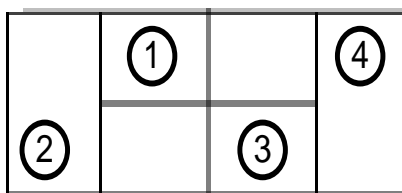


Figura 4.2. Zonas de realización de los ensayos para la evaluación de la función deportiva de las pistas de pádel.

Las diferencias entre las cuatro zonas se comprobaron mediante un análisis de la varianza (ANOVA) siguiendo el procedimiento Modelo Lineal General Univariante, estableciendo un nivel de significación $p < 0.05$.

De acuerdo a lo estipulado en la normativa UNE-EN 15330-1 que regula la evaluación de los pavimentos deportivos de césped artificial, durante la realización de los ensayos se comprobó que la temperatura ambiente estuviera entre $+5^{\circ}\text{C}$ y $+35^{\circ}\text{C}$. El estudio se llevó a cabo entre las 10 y las 15 h, puesto que era el horario en que las instalaciones contaban con una menor ocupación (apartado 4.3.1.2b).

Sobre cada una de estas 4 zonas se llevaron a cabo los ensayos seleccionados de acuerdo a los documentos técnicos vigentes. Debe tenerse en cuenta que, si bien cada ensayo cuenta con una norma que regula el procedimiento para la realización del mismo, estas pruebas son las requeridas por la norma UNE-EN 15330-1 para la evaluación de pavimentos deportivos de césped artificial, siendo este documento técnico el que recoge los rangos en que deben encontrarse cada una de las propiedades dependiendo del deporte al que vaya destinado el pavimento:

- **Amortiguación de impactos** (UNE-EN 14808:2006): en cada zona se llevó a cabo el ensayo sobre un punto. Este test consiste en la realización de tres impactos siendo el resultado del ensayo el valor medio de la segunda y la tercera repetición. El primer impacto se descarta al considerarse que tiene un efecto de homogeneización de las características del pavimento debido al material granulado de relleno.
- **Fricción lineal** (UNE-EN 13036-4:2012): sobre cada zona se realizan cuatro repeticiones en direcciones perpendiculares y sentidos opuestos. El valor de fricción de cada punto es la media de las cuatro medidas realizadas.
- **Bote vertical de pelota** (UNE-EN 12235:2014): sobre cada zona se realizaron cinco repeticiones del ensayo, siendo el resultado el valor medio de las cinco.

Tanto los puntos ensayados dentro de cada zona como el orden de realización de los ensayos fueron elegidos aleatoriamente. Sin embargo, con el objetivo de garantizar que la realización de unos ensayos no tuviera efecto sobre los resultados de otros ejecutados sobre la misma zona, se fijó una distancia mínima entre los puntos de evaluación de cada uno de ellos. De acuerdo a la norma UNE-EN 15330-1, esta distancia debe ser de 100 mm, por lo que se mantuvo esta distancia entre los puntos de ensayo.

A continuación se describe de forma detallada la metodología seguida para la realización y el cálculo del resultado de cada ensayo.

Amortiguación de impactos

Siguiendo lo estipulado en la norma UNE-EN 15330-1, para la evaluación de la capacidad de absorción de impactos del pavimento se ha seleccionado el ensayo que recoge la norma *UNE-EN 14808:2006 Superficies deportivas. Determinación de la absorción de impactos*. Consiste en dejar caer una masa de 20 kg sobre la superficies de juego desde una altura de 55 ± 0.5 mm y medir la fuerza de impacto provocada al contactar con el suelo mediante una célula de carga capaz de registrar datos con una incertidumbre no superior a $\pm 2\%$. Entre la masa y la célula de carga se coloca un muelle de rigidez 2000 N/mm que simula la amortiguación del impacto debida a la flexión de la rodilla y/o el tobillo. El equipo utilizado se denomina *Atleta Artificial* o *Atleta de Berlín* (Figura 4.3).

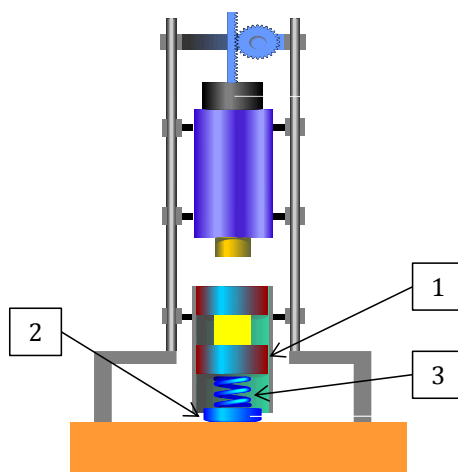


Figura 4.3. Atleta artificial o de Berlín (1: masa; 2: célula de carga; 3: muelle).

La capacidad de amortiguación de impactos o reducción de fuerzas (RF) del pavimento deportivo se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$RF (\%) = \left(1 - \frac{F_{\max \text{ superficie deportiva}}}{F_{\max \text{ superficie referencia}}} \right) \cdot 100$$

Donde:

$F_{\max_{\text{superficie deportiva}}}$ es la fuerza máxima medida al realizar el ensayo sobre la superficie deportiva,

$F_{\max_{\text{superficie referencia}}}$ es la fuerza máxima medida al realizar el ensayo sobre una superficie rígida de referencia (aproximadamente 6760 N).

Se trata, por tanto, del porcentaje de la fuerza de impacto en relación con la fuerza medida sobre la superficie rígida de referencia.

Fricción lineal

Al igual que en el caso anterior, de acuerdo a lo estipulado en la norma UNE-EN 15330-1 para la evaluación de la fricción o el agarre entre el calzado y el pavimento deportivo, se seleccionó el ensayo regido por la norma *UNE-EN 13036-4:2012 Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo. Parte 4: Método para medir la resistencia al deslizamiento/derrape de una superficie. Ensayo del péndulo*. Consiste en un péndulo (Figura 4.4) en cuyo extremo se incorpora un patín de caucho que se deja caer tras calibrar la altura de soltado según lo indicado en la norma. La altura alcanzada por el brazo tras interaccionar el caucho con el pavimento ofrece como resultado el valor de fricción del pavimento (de acuerdo a la escala del péndulo TRRL).

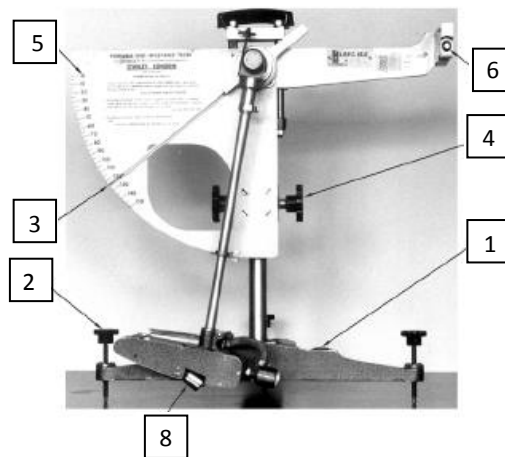


Figura 4.4. Péndulo (1: nivel de burbuja; 2: tornillo de nivelación; 3: aguja indicadora; 4: tornillo de ajuste vertical; 5: escala de medida; 6: mecanismo de bloqueo/desbloqueo; 8: patín de caucho).

Bote vertical de pelota

A partir de lo que establece la norma UNE-EN 15330-1, el ensayo de bote vertical de pelota debe realizarse siguiendo la norma *UNE-EN 12235:2014 Superficies deportivas. Determinación del comportamiento vertical de la pelota o balón*. Consiste en la evaluación de la altura alcanzada por la pelota tras impactar contra el suelo al caer desde una altura conocida. El tiempo transcurrido entre el primer impacto y el segundo es medido mediante un micrófono y un cronómetro con una precisión de 1 ms (Figura 4.5).

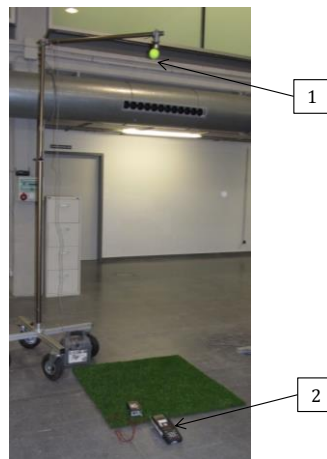


Figura 4.5. Equipo de ensayos para la evaluación del bote vertical de pelota (1: sistema de sujeción de la pelota; 2: cronómetro).

Dado que no existe normativa que regule la altura de soltado de la pelota en el caso de evaluación de pistas de pádel, se utilizó la misma que en el caso del tenis (2.54 m).

A partir del tiempo medido, la altura alcanzada por la pelota se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$H = 1.23 (T - K_1)^2$$

Donde:

T es el tiempo (s) transcurrido entre el primer y el segundo impacto de la pelota contra el suelo.

K_1 es un factor de corrección en segundos (0.05).

El resultado se expresa como el porcentaje de la altura que alcanza la pelota cuando se deja caer desde la misma altura sobre una superficie rígida:

$$H (\%) = \frac{H_{\text{superficie deportiva}}}{H_{\text{superficie rígida}}} \cdot 100$$

Donde:

H (%) es la altura relativa de rebote.

$H_{\text{superficie deportiva}}$ es la altura alcanzada por la pelota tras impactar sobre la superficie deportiva (expresada en m).

$H_{\text{superficie rígida}}$ es la altura alcanzada por la pelota tras impactar sobre una superficie rígida (expresada en m).

Previamente a la realización del ensayo se seleccionó la pelota a utilizar. Para ello, técnicos de la Federación Española de Pádel identificaron las marcas y modelos de pelotas más utilizadas durante la práctica de este deporte, que fueron evaluadas mediante el ensayo de bote vertical de pelota descrito para comprobar si existían diferencias significativas entre ellas. En dicho ensayo se incluyó el modelo de pelota utilizado por la ITF en la evaluación de los pavimentos destinados a la práctica del tenis dado que éste es fabricado expresamente para la realización de ensayos y presenta, en principio, un comportamiento más repetible.

Con los resultados obtenidos del ensayo realizado sobre los siete modelos de pelota, se llevó a cabo un análisis de la varianza (ANOVA) mediante el procedimiento Modelo Lineal General Univariante para conocer si existían diferencias significativas entre ellos. El nivel de significación fue establecido en $p < 0.05$.

Dado que no se encontraron diferencias significativas entre los modelos de pelota, se realizó un análisis de estadísticos descriptivos (media, desviación típica y coeficiente de variación) con el objetivo de identificar el que presentaba una menor dispersión en los resultados.

Los resultados mostraron que el modelo de pelota que presentaba una menor variabilidad de los resultados era el utilizado por la ITF en sus ensayos, por lo que se usó dicho modelo de pelota para desarrollar el estudio de campo en el que se identificaron los valores de referencia.

4.3.1.2b. Procedimiento del estudio de campo

Una vez seleccionadas las pistas objeto de estudio, identificados los ensayos a realizar y definido el protocolo de medida, se planificó el proceso de toma de datos. Éste consistió en contactar con los responsables de las instalaciones, planificar las visitas y evaluar las pistas. A continuación se describe de forma detallada cómo se llevó a cabo cada una de estas tareas.

Contacto con los responsables de las instalaciones

Se comunicó a la Federación de Pádel de la Comunidad Valenciana (FPCV) las instalaciones a las que correspondían las pistas seleccionadas (apartado 4.3.1.1), que cedió los datos de contacto de los responsables de las mismas a la investigadora para que se dirigiera a ellos, les explicase el estudio a llevar a cabo y la informaran sobre horarios y posibles fechas para realizar el estudio de campo. Este proceso se siguió en las tres instalaciones seleccionadas para la realización del estudio.

Planificación de las visitas

Tras conocer horarios y posibles fechas para la evaluación de las pistas de pádel, se diseñó un plan de visitas que se comunicó a los responsables de las instalaciones quince días antes de efectuarlas. Dicho plan incluía la fecha concreta de la visita y el horario propuesto, así como una estimación del tiempo requerido para la realización de los ensayos.

Puesto que el objetivo era evaluar las propiedades de las pistas mientras no estuvieran siendo utilizadas, se establecieron horarios de mañana (de 10 a 15h) dada la menor afluencia de deportistas.

Desarrollo de la sesión de evaluación de las pistas

El día establecido, la investigadora se desplazó a la instalación deportiva para evaluar las propiedades de las pistas de acuerdo al protocolo descrito en el apartado 4.3.1.2a.

4.3.1.3. Evaluación de la percepción de los deportistas

Tras los ensayos mecánicos se llevó a cabo el estudio subjetivo, que consistió en la realización de encuestas a los usuarios de las diferentes pistas evaluadas.

4.3.1.3a. Selección de los deportistas participantes en el estudio

Población objeto de estudio

Se identificó como población objeto de este estudio a las personas que practican pádel en España. Actualmente, el número de licencias federativas en este país es de 39813 (Federación Española de Pádel, 2015). Sin embargo, este tipo de licencias incluye únicamente a las personas que practican pádel a nivel competición mientras que el objetivo del presente estudio es centrarse en quienes practican este deporte a nivel *amateur*. En este sentido, según la última encuesta sobre hábitos deportivos en España realizada en 2010 (García Ferrando & Llopis, 2011), el 2.6% de la población entre 15 y 75 años practicaba pádel en esa fecha. Del estudio demográfico realizado por el Instituto Nacional de Estadística en ese mismo año (INE - Demografía, 2010) se desprende que la población española entre 15 y 75 años ascendía a 35.975.564 personas. Por tanto, la población objeto de estudio (correspondiente al 2.6% del total) ascendería a 935.365 personas. Aunque este estudio se desarrolló con posterioridad a 2010, dado que el número de personas que practican pádel ha tenido una tendencia ascendente, se considera que en la fecha de realización del estudio (2013) la población objeto del estudio sería mayor.

Cálculo del tamaño de muestra

Puesto que el objetivo de este estudio es identificar los valores de referencia de los pavimentos destinados a la práctica del pádel, el tamaño de muestra debía ser suficiente para garantizar una correlación entre las propiedades medidas y percibidas por los deportistas, de forma que fuera posible fijar umbrales máximos y mínimos de cada una de las propiedades. Por tanto, el cálculo del tamaño de muestra se realizó mediante la siguiente ecuación (Vallejo, 2012):

$$n = \frac{8}{r_{\alpha=0.05}^2}$$

Donde:

n = tamaño de muestra.

r = tamaño del efecto (valor de las correlaciones más pequeñas que se quieren encontrar).

El uso de esta fórmula supone un nivel de confianza $\alpha = 0.05$ y una potencia de test de 80-90%. El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados obtenidos se ajusten a la realidad.

Según estudios realizados por diferentes autores (Witana et al., 2009; Young et al., 2004) el coeficiente de correlación (r) entre las propiedades mecánicas de elementos como el pavimento deportivo o el calzado y la percepción de los usuarios se encuentra entre 0.3 y 0.4. Con el objetivo de garantizar la mayor potencia de test, se seleccionó la condición más desfavorable (correlación más pequeña) que correspondía a un valor de r igual a 0.3. Al calcular el tamaño de muestra de acuerdo a la ecuación mostrada (Vallejo, 2012), se obtuvo que era necesario realizar el cuestionario sobre un mínimo de 89 deportistas *amateurs*, dado que cada deportista solamente era encuestado sobre una pista.

Por otro lado, dado que el tamaño de muestra se calculó a partir de un valor de correlación (r) fijado y los valores de referencia se identificaron teniendo en cuenta los diferentes análisis de la varianza (ANOVA) realizados, se valoró el tamaño del efecto y la potencia observada con el objetivo de garantizar que la muestra utilizada era suficiente para la obtención de resultados concluyentes.

Selección de la muestra

La selección de la muestra de estudio se realizó sobre los deportistas que practicaban pádel de forma habitual en las instalaciones en las que se llevó a cabo la evaluación de las propiedades mecánicas.

Por otro lado, con el fin de obtener la mayor homogeneidad en las respuestas, se definieron los siguientes criterios de selección:

- Tener entre 18 y 55 años.
- Jugar al pádel sobre una superficie de césped artificial y de forma habitual en la pista sobre la que se les encuestaba.
- Practicar este deporte al menos una vez cada dos semanas.
- Tener más de un año de experiencia en este deporte.

Dichos criterios se basaron en la definición de deportista *amateur* realizada por algunos autores (Stebbins, 1992) y en estudios similares en los que se analizaba la percepción de las propiedades de pavimentos deportivos de deportistas *amateurs* (Fleming et al., 2005; Young et al., 2004).

Dado que previamente a la realización de la encuesta no se comprobaban las características de cada deportista, un total de 190 deportistas participaron en el estudio con el objetivo de garantizar que, si se descartaban deportistas por

no cumplir con los requisitos marcados, el número de casos necesarios se iba a alcanzar. Finalmente, 176 de los deportistas que cumplimentaron la encuesta cumplieron los requisitos indicados, excluyendo del estudio a los 14 restantes.

3.3.1.3b. Elaboración de la encuesta

La elaboración de la encuesta se realizó a partir de una revisión bibliográfica de cuestionarios similares (Fleming et al., 2005; Olmedilla et al., 2004; Suárez, 2006), efectuándose las siguientes tareas:

- a) Construcción de la encuesta. Esta tarea consistió en la identificación de las propiedades sobre las que encuestar a los deportistas y las dimensiones en que podrían expresar sus percepciones y preferencias. Posteriormente, se elaboró una encuesta que contaba tanto con preguntas relacionadas con los datos personales de los deportistas como con su opinión con respecto a cada una de las propiedades de la superficie.
- b) Revisión por parte de expertos para realizar mejoras sobre la encuesta inicial.
- c) Prueba piloto para la comprobación de la validez y fiabilidad de la encuesta.

A continuación se describe de forma detallada el proceso seguido en cada una de las tareas indicadas:

1. Construcción de la encuesta. Dado que el objetivo era la obtención de valores de referencia de las propiedades de amortiguación de impactos, fricción y bote vertical de pelota a partir de la opinión de los deportistas, las preguntas que conformaran la encuesta debían tener como propósito conocer la percepción y la preferencia de los deportistas sobre estas tres propiedades.

La construcción de la encuesta se realizó en dos bloques: un primer bloque relacionado con la información necesaria para caracterizar a los jugadores y decidir su inclusión o no en el estudio (edad, superficie sobre la que practicaban pádel habitualmente, periodicidad y experiencia en la práctica de este deporte); y un segundo bloque que incluía las preguntas sobre su valoración acerca de las propiedades citadas. Debe tenerse en cuenta que, con la finalidad de lograr mayor entendimiento de las preguntas por parte de los jugadores, se relacionó cada una de las propiedades con características con las que los deportistas están más familiarizados, de acuerdo a estudios previos publicados sobre la evaluación de la percepción de las propiedades de pavimentos deportivos de césped artificial (Fleming et al., 2005; Young et al., 2004):

- La amortiguación de impactos se expresó como dureza: se consideró que una menor capacidad de amortiguación de impactos es percibida por los deportistas como una mayor dureza del pavimento.
- La fricción o agarre se expresó como resbaladidad: se consideró que una menor fricción resulta en una mayor resbaladidad de los jugadores.
- El bote vertical de pelota se expresó en términos de percepción de la altura del bote de la pelota tras impactar contra el pavimento.

Esta relación entre las propiedades evaluadas y los términos utilizados se validó posteriormente en la revisión y prueba piloto de la encuesta.

La definición de las dimensiones en las que los deportistas podían valorar la percepción de cada una de las propiedades se fijó a partir de encuestas similares realizadas en otros estudios (Fleming, 2005; Young, 2004). En el caso de la valoración de la percepción, la escala podía tomar valores del 1 al 5, correspondiendo el 1 a un déficit de la propiedad (por ejemplo, agarre deficiente) y el 5 a un exceso en la propiedad (por ejemplo, agarre excesivo). En el caso de la preferencia, la valoración podía oscilar entre 1 y 3, de forma que el 1 significaba que preferirían incrementar el valor de la propiedad (por ejemplo, que la pista agarrara más), 2 que la propiedad era adecuada según su opinión y 3 que preferirían disminuir el valor de la propiedad (por ejemplo, que la pista agarrara menos).

2. Revisión por parte de expertos. Una vez elaborada la encuesta, se procedió a su revisión. La batería de preguntas diseñada fue remitida por correo electrónico a un grupo de expertos integrado por un investigador sociólogo especializado en la elaboración de encuestas, un doctor en ciencias de la actividad física y dos jugadores de pádel *amateurs* (con más de un año de experiencia). Todos ellos revisaron la encuesta diseñada y aportaron por correo electrónico su opinión tanto en relación con el contenido de la misma como sobre el lenguaje utilizado en ella. A partir de dichas opiniones y propuestas se incorporaron modificaciones sobre el cuestionario inicial.

3. Prueba piloto y comprobación de fiabilidad. Una vez realizadas las modificaciones propuestas por los expertos, se efectuó una prueba piloto sobre 20 jugadores de pádel de la Universitat Politècnica de València tras disputar un partido sobre una de las pistas de las instalaciones deportivas de dicha universidad. Durante este estudio piloto se anotaron las dudas planteadas por los participantes acerca de las diferentes preguntas, así como las propuestas de mejora relativas al lenguaje utilizado. Al terminar se les preguntó sobre la

valoración general del cuestionario. Toda la información recopilada se utilizó a posteriori para la elaboración de la encuesta final.

Con los resultados del estudio piloto se comprobó la validez y fiabilidad del cuestionario. El estudio de la validez es el grado en que un instrumento mide aquello para lo que ha sido concebido. El estudio de fiabilidad analiza el grado en que un instrumento mide con precisión la repetibilidad de los mismos en condiciones similares (Gloria, 2008).

En primer lugar se analizó la validez del constructo, condición indispensable a la hora de valorar la eficacia de un instrumento de evaluación sobre una variable psicológica determinada (Blanco et al., 2003; Elejabarrieta et al., 2010). Para realizar esta comprobación se utilizó la medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y el test de esfericidad de Bartlett, obteniéndose los datos mostrados a continuación:

Tabla 4.2. Resultados de la prueba KMO y la prueba de esfericidad de Bartlett de la prueba piloto de la encuesta.

KMO y prueba de Bartlett

Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.	0.796
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado
	gl
	Sig.
	533.23
	15
	0.000

El valor de KMO se sitúa entre 0.7 y 0.8, lo que indica que la adecuación muestral es aceptable (Kaiser, 1974). Además, el valor de significación obtenido de la prueba de esfericidad de Bartlett ($p < 0.05$) permite descartar la hipótesis de que la matriz de correlaciones coincide con la matriz identidad. Por tanto, se considera que la encuesta se ha elaborado de forma adecuada.

Para la evaluación de la fiabilidad se realizó sobre los resultados del estudio piloto una medida ponderada de las correlaciones entre las respuestas a las preguntas que conforman la encuesta. Ello permitió obtener el valor de Alfa de Cronbach (Soto & Lautenschlager, 2003), que es un indicador de la viabilidad de un test basado en su grado de consistencia interna (Tabla 4.3):

Tabla 4.3. Estadísticos de fiabilidad del cuestionario tras el estudio piloto.

Alfa de Cronbach	N de elementos
0.762	6

Valores de Alfa de Cronbach por encima de 0.7 se consideran aceptables (Cronbach, 1951). Por tanto, la fiabilidad del cuestionario era adecuada.

Tras los resultados de dicho análisis se decidió no modificar la encuesta, quedando como recoge el Anexo I.

4.3.1.3c. Procedimiento del estudio de campo

Una vez identificadas las características que deben cumplir los deportistas y definidas las encuestas, se abordó el estudio de campo.

Dado que la evaluación de la percepción de los deportistas se iba a efectuar en las mismas pistas sobre las que se había realizado la evaluación mecánica, se contactó directamente con los responsables de las instalaciones para planificar las visitas y celebrar las sesiones de obtención de información subjetiva de los deportistas. A continuación se describe de forma detallada cómo se llevó a cabo cada una de estas tareas.

Planificación de las visitas

Se contactó con los responsables de las diferentes instalaciones seleccionadas (apartado 4.3.1.1) para indicarles que se iba a realizar la segunda parte del estudio y valorar posibles horarios y fechas para efectuarlo.

Tras recabar esta información, se diseñó un plan de visitas que se comunicó a los responsables de las instalaciones quince días antes de celebrarlas. Dicho plan incluía las fechas concretas y los horarios propuestos.

Dado que el objetivo era entrevistar al máximo número de deportistas posible, se establecieron horarios de tarde (de 17 a 22h) puesto que son los de mayor afluencia de deportistas a las pistas de pádel.

Desarrollo de la sesión de evaluación de las pistas

Los días establecidos la investigadora se desplazó a las instalaciones deportivas y llevó a cabo la toma de datos de acuerdo a la encuesta presentada en el Anexo I. Los deportistas rellenaron el cuestionario inmediatamente después de finalizar su sesión de pádel.

4.3.2. Tratamiento estadístico de resultados

El tratamiento estadístico de los datos obtenidos se llevó a cabo inicialmente por separado, para realizar finalmente un tratamiento conjunto de los resultados de la evaluación de las propiedades mecánicas y de la percepción de los deportistas. En los tres casos se utilizó el software de tratamiento estadístico SPSS 16.0.

4.3.2.1. Evaluación de las propiedades mecánicas

En primer lugar se realizó un análisis descriptivo de las variables dependientes evaluadas en cada una de las pistas (estadísticos descriptivos: medias, desviación típica y coeficiente de variación). Posteriormente se comprobó la distribución Gaussiana (normal) de los datos mediante el test de Kolmogorov-Smirnov y la homocedasticidad mediante la prueba de Levene. Una vez confirmados estos dos supuestos, se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) mediante el procedimiento Modelo Lineal General Univariante para conocer si existían diferencias estadísticamente significativas en las propiedades de las distintas pistas. El nivel de significación fue establecido en $p < 0.05$.

Por un lado se trataron los datos obtenidos de la evaluación de las **propiedades mecánicas** de las pistas, que pueden dividirse en variables dependientes e independientes. Una variable dependiente es la que refleja los resultados de un estudio de investigación mientras que las variables independientes representan los tratamientos o condiciones que el investigador controla para probar sus efectos sobre algún resultado (Salking et al., 1998).

Las variables independientes pueden cambiar libremente o por efecto del investigador sin ser influidas por las variables dependientes. Por el contrario, las variables dependientes pueden variar en función de los cambios de las variables independientes (Thomas y Nelson, 2007). Por tanto, en este primer estudio, correspondiente a la evaluación de las propiedades mecánicas de las pistas, se ha trabajado con las siguientes variables dependientes: **reducción de fuerzas** (RF, medida en %), **fricción** (medida en la escala del péndulo TRRL) y **bote vertical de pelota** (H, medido en %).

Desde el punto de vista del efecto, las pistas se clasificaron como factores aleatorios ya que no es objetivo de esta investigación analizar el efecto que la tipología del césped tiene sobre sus propiedades. La tipología de la pista solamente se consideró durante el proceso de selección de la muestra.

Dado que el número de medidas tomadas en cada pista se realizó siguiendo la normativa vigente, con el objetivo de comprobar si el número de datos es suficiente para detectar diferencias significativas entre pistas se analizó la potencia observada en cada uno de los análisis de la varianza realizados.

Finalmente se llevó a cabo un análisis post-hoc Tukey-b con el objetivo de identificar si existían agrupaciones de pistas atendiendo a las propiedades presentadas ($p < 0.05$).

4.3.2.2. Evaluación de la percepción de los deportistas

El tratamiento de la **percepción de los deportistas** se realizó sobre las siguientes variables dependientes:

- Percepción y preferencia de la dureza de las pistas.
- Percepción y preferencia de la resbaladidad de las pistas.
- Percepción y preferencia del bote vertical de la pelota.

Dicho tratamiento consistió, en primer lugar, en un análisis descriptivo de cada una de las variables (media, moda y desviación típica). A continuación se realizó un análisis no paramétrico de la varianza (Kruskal-Wallis) para conocer si existían diferencias estadísticamente significativas en la percepción de las propiedades de las pistas. El nivel de significación fue fijado en $p < 0.05$.

En este estudio no se consideraron variables independientes, sino variables de control con el objetivo de homogeneizar al máximo la muestra de los deportistas participantes. Dichas variables de control fueron:

- Edad de los deportistas.
- Experiencia en la práctica del pádel (años).
- Tiempo dedicado a la práctica del pádel a la semana (horas).
- Pista en la que practican pádel habitualmente.

Desde el punto de vista del efecto, los deportistas se incluyeron en el estudio como factores aleatorios ya que no representan a toda la población que practica pádel ni es objeto de este estudio la identificación de la opinión de diferentes grupos de población con respecto a las propiedades de las superficies evaluadas.

4.3.2.3. Tratamiento conjunto de datos

Finalmente se llevó a cabo un **tratamiento conjunto de datos** en el que se incluyeron los resultados de las variables dependientes del estudio de las propiedades mecánicas de los pavimentos y del estudio de la percepción de los deportistas. Para ello, con el objetivo de comprobar si los deportistas percibían

diferencias entre pistas con propiedades mecánicas diferentes y si estas diferencias las relacionaban con las variables subjetivas medidas, se calculó en primer lugar la correlación de Pearson entre los valores medios de las medidas realizadas sobre cada una de las pistas (RF, Fricción y H) y los rangos promedio obtenidos del análisis no paramétrico de la varianza (Kruskal-Wallis) de las variables subjetivas analizadas (percepción y preferencia de los deportistas). El nivel de significación fijado fue de $p < 0.05$. La comprobación de esta correlación permitió identificar si era posible fijar los valores de referencia de las diferentes propiedades de las pistas a partir de la opinión de los deportistas. Además, corroboró que los términos utilizados en las preguntas relativas a la amortiguación de impactos y la fricción eran adecuados, verificando que los deportistas relacionaban una mayor dureza con una menor capacidad de amortiguación de impactos y una mayor resbaladidad con una menor fricción.

Tras la comprobación de la existencia de correlaciones entre las propiedades medidas y la percepción de los deportistas, se calculó la correlación de Rho de Spearman entre las variables subjetivas de percepción y preferencia de las propiedades de las pistas utilizando el 100% de las respuestas (fijando un nivel de significación $p < 0.05$) con el objetivo de comprobar si la relación entre lo que percibían y lo que preferían era, en general, la esperada (por ejemplo, que si percibían la superficie dura la preferían más blanda y viceversa). Posteriormente se representó el diagrama de dispersión de la percepción y la preferencia de los deportistas de cada una de las propiedades.

Para establecer los valores de referencia de cada una de las variables se identificó las respuestas de los deportistas que definían una pista como adecuada o no:

- Se consideraron como respuestas válidas las correspondientes a aquellos cruces entre la percepción y la preferencia en los que los deportistas indicaban que percibían una propiedad excesiva y en la preferencia indicaban que la preferirían más baja, y viceversa (Figura 3.6, puntos dentro del cuadrado con línea de contorno verde continua).
- Se consideraron también válidas aquellas respuestas en las que los deportistas afirmaron que les parecía adecuada la propiedad, independientemente de cómo la percibieran (Figura 4.6, puntos dentro del cuadrado con línea de contorno de puntos verde).
- Se consideraron no válidas aquellas respuestas en las que los deportistas indicaron que el valor de una propiedad es excesivo y en la preferencia respondían que les gustaría que fuera mayor y viceversa (Figura 4.6, puntos dentro del cuadrado con línea de contorno rojo discontinua).

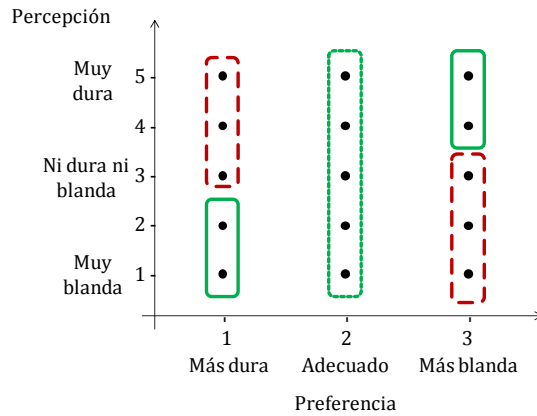


Figura 4.6. Diagrama de dispersión entre percepción y preferencia de dureza.

Las respuestas no válidas fueron eliminadas del análisis y posteriormente se representaron en un diagrama de dispersión las respuestas válidas de la variable preferencia y el valor medido de la propiedad mecánica correspondiente. A partir de dicho diagrama de dispersión se identificaron (en primera instancia y a falta de los resultados de la validación) los valores de referencia de cada una de las propiedades fijando como rango en el que deben encontrarse aquel en el que los deportistas indicaron que la propiedad era adecuada y como límite superior e inferior aquellos valores en los que los deportistas refirieron que preferirían aumentarla o disminuirla respectivamente (Figura 4.7). Sin embargo, en ocasiones se detectaron cruces de datos que no permitían fijar de una forma clara dichos valores de referencia (representados como x en la Figura 4.7); estos cruces de datos muestran la existencia de deportistas que indicaron que, por ejemplo, una RF, que a la mayoría de los jugadores les parecía adecuada, a ellos les parece excesiva o deficiente.

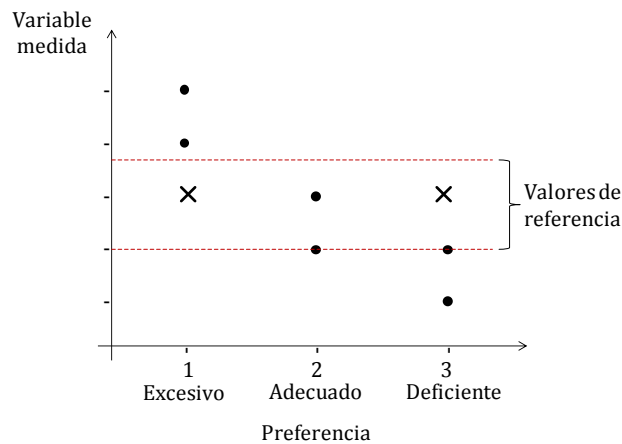


Figura 4.7. Identificación de los valores de referencia (x: valores no adecuados para la identificación de los valores de referencia de acuerdo a los resultados de las tablas de contingencia; ●: valores utilizados en la identificación de los valores de referencia).

Con el objetivo de identificar si estos cruces (x) debían quedar dentro o fuera del rango de propiedades identificado como aceptable, se obtuvieron las tablas de contingencia que relacionan la preferencia expresada por los deportistas con los valores medidos de cada propiedad. El objetivo era identificar la frecuencia con la que los deportistas expresaban cada preferencia a partir de la cual fijar los valores de referencia. Atendiendo a esta frecuencia se identificaron los rangos en que deben encontrarse las diferentes propiedades.

En los casos en los que la frecuencia no permitía identificar de forma clara el rango de los valores de referencia, se recurrió a las normas técnicas vigentes relativas a otras tipologías de pavimentos deportivos para el establecimiento de los límites de los valores de referencia desde el punto de vista de la seguridad y el rendimiento de los deportistas. Los documentos técnicos utilizados fueron la norma que regula los pavimentos deportivos de césped artificial (UNE-EN 15330-1:2014) y la norma que regula los pavimentos deportivos *indoor* (UNE-EN 14904:2012). El uso de uno u otro documento dependió de la propiedad objeto de estudio.

El mismo proceso se siguió para todas las variables (reducción de fuerzas, fricción y bote vertical de pelota), fijándose los valores de referencia que se validan en la Fase 3 del estudio descrita a continuación.

4.4. Fase 3. Validación de los valores de referencia

La validación de los valores de referencia se llevó a cabo en dos etapas:

1. Evaluación subjetiva de dos pistas tras la disputa de partidos. Una de las pistas contaba con propiedades dentro de los valores de referencia identificados; la otra se consideraba inadecuada de acuerdo a los rangos establecidos para las diferentes propiedades.
2. Evaluación subjetiva de una pista tras la realización de un circuito controlado utilizando zapatillas con características de la suela diferentes. La pista contaba con propiedades dentro del rango de los valores de referencia identificados.

El circuito controlado era realizado por los deportistas utilizando calzado con suelas diferentes con el objetivo de analizar la influencia del mismo sobre su percepción del pavimento.

La disputa del partido la realizó cada deportista con su calzado habitual y la pelota utilizada fue la misma por todos, con el objetivo de validar tanto los valores de referencia de las propiedades que implican interacción entre el calzado y el pavimento como el bote vertical de pelota.

A continuación se describe de forma detallada el procedimiento seguido en cada una de las dos etapas que han conformado la fase de validación de los valores de referencia.

4.4.1. Validación tras partido

El objetivo de este estudio fue validar que los jugadores perciben como adecuadas las pistas que presentan sus propiedades dentro de los valores de referencia identificados y que aquellas que se encuentran fuera son identificadas como no adecuadas.

4.4.1.1. *Cálculo del tamaño de muestra y selección de la población objeto de estudio*

4.4.1.1a. Cálculo del tamaño de muestra

Al igual que en el caso de la identificación de los valores de referencia, en el proceso de la validación el tamaño de muestra del estudio debía ser suficiente para garantizar una correlación entre la percepción de los deportistas y las

propiedades del pavimento; por tanto, se calculó mediante la siguiente ecuación (Vallejo, 2012):

$$n = \frac{8}{r_{\alpha=0.05}^2}$$

Donde:

n = tamaño de muestra.

r = tamaño del efecto (valor de las correlaciones más pequeñas que se quieren encontrar).

El uso de esta fórmula supone un nivel de confianza $\alpha = 0.05$ y una potencia de test de 80 – 90%. El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados obtenidos se ajusten a la realidad.

Según estudios realizados por diferentes autores (Witana et al., 2009; Young et al., 2004), el coeficiente de correlación (r) entre las propiedades mecánicas de elementos como el pavimento deportivo o el calzado y la percepción de los usuarios se encuentra alrededor de entre 0.3 y 0.4.

Dado a que en la fase correspondiente a la identificación de los valores de referencia se observó una correlación elevada entre las propiedades de los pavimentos y la percepción de los deportistas, en este caso se fijó un valor de r de 0.4 para el cálculo del tamaño de muestra. Por tanto, para llevar a cabo la validación se debía contar con una muestra mínima de 50 deportistas de cada pista.

4.4.1.1b. Selección de la población objeto de estudio

La selección de la muestra de estudio se realizó sobre los deportistas que practicaban pádel de forma habitual en las instalaciones seleccionadas para llevar a cabo la validación.

Por otro lado, con el fin de obtener la mayor homogeneidad en las respuestas, se definieron los siguientes criterios de selección:

- Tener entre 18 y 55 años.
- Jugar al pádel sobre una superficie de césped artificial y de forma habitual en la pista sobre la que se les encuestaba.
- Practicar este deporte al menos una vez cada dos semanas.
- Tener más de un año de experiencia en este deporte.

Al igual que se indicó en la fase relativa a la identificación de los valores de referencia, dichos criterios se basaron en la definición de deportistas *amateurs* realizada por algunos autores (Stebbins, 1992) y en estudios similares en los que se analizaba la percepción de este tipo de deportistas sobre las propiedades de pavimentos deportivos (Fleming et al., 2005; Young et al., 2004).

Un total de 55 deportistas de cada instalación que cumplieran los requisitos indicados participaron en el estudio.

4.4.1.2. Selección de las pistas

De acuerdo con lo expuesto anteriormente el proceso de validación tras jugar un partido se llevó a cabo sobre dos pistas: una cuyas propiedades se encontraban dentro de los rangos identificados como adecuados para la práctica del pádel y otra con las tres propiedades evaluadas fuera de dichos rangos.

Se procedió a la búsqueda de nuevas pistas, para lo cual se contó con la información facilitada por la Federación de Pádel de la Comunidad Valenciana (apartado 3.3.1.1) y se inició un estudio de campo siguiendo el protocolo definido en el apartado 3.3.1.2a hasta encontrar una pista que contara con propiedades dentro de los valores de referencia identificados como adecuados para la práctica del pádel y otra cuyas propiedades estuvieran fuera de dichos rangos. Se ensayaron un total de 5 pistas.

La pista seleccionada cuyos valores se encontraban dentro del rango de los valores de referencia identificados estaba ubicada en la ciudad de Valencia y se codificó como D_1. La pista cuyas propiedades se encontraban fuera de los rangos fijados estaba ubicada en la Poble de Farnals, provincia de Valencia, y se codificó como E_1. La siguiente tabla muestra las propiedades de ambas pistas (Tabla 4.4):

Tabla 4.4. Propiedades mecánicas de las pistas seleccionadas para la validación.

Pista	D_1	E_1
RF (%)	17	6
Fricción	98	80
H (%)	94	100

4.4.1.3. Desarrollo de la encuesta

La encuesta se desarrolló a partir de la utilizada en la fase de identificación de los valores de referencia (Anexo I). Sobre dicha encuesta se incluyeron preguntas relacionadas con:

- La percepción de seguridad.
- La percepción de rendimiento.
- La valoración general de la pista.

Dado que la encuesta se validó durante el desarrollo de la fase 2 y no se modificó sustancialmente para el desarrollo de esta fase, no se llevó a cabo una nueva validación de la misma. La encuesta puede consultarse en el Anexo II de esta tesis doctoral.

4.4.1.4. Planificación del estudio

Una vez seleccionadas las pistas sobre las que llevar a cabo el estudio, se contactó con los responsables de las instalaciones para explicarles el alcance del estudio y valorar la posibilidad de que permitieran a la investigadora entrevistar a los deportistas después del uso de la pista.

Con el visto bueno de los responsables de las instalaciones se planificaron los horarios de las visitas y se comunicaron a los responsables de las instalaciones para verificar que en el horario propuesto las pistas no estaban ocupadas por entrenamientos ni por competiciones profesionales o semi-profesionales, ya que para el desarrollo del estudio se requerían deportistas *amateurs*. Una vez realizada dicha comprobación, se fijó el horario definitivo de las visitas.

Cinco días antes de las visitas se volvió a contactar telefónicamente con los responsables de la instalación para confirmar la fecha y el horario en el que la investigadora acudiría a realizar las encuestas.

4.4.1.5. Estudio de campo

Dado que los deportistas iban a ser encuestados sobre cómo percibían el bote de la pelota, la investigadora cedió el mismo modelo de pelota (la utilizada por la ITF para la realización de ensayos) a todos ellos con el objetivo de garantizar que su percepción no estuviera influida por el modelo o el estado de la pelota.

Previamente al inicio del partido se les informó de que se les iba a realizar una encuesta que incluía preguntas sobre cómo percibían la interacción entre el calzado y el pavimento y el bote de la pelota.

La duración de cada partido fue de una hora tras la cual los jugadores rellenaron el cuestionario.

4.4.1.6. Tratamiento estadístico de los resultados

El tratamiento de la **percepción de los deportistas** se efectuó sobre las siguientes variables dependientes:

- Percepción y preferencia de la dureza de la pista.
- Percepción y preferencia de la resbaladidad de la pista.
- Percepción y preferencia del bote vertical de la pelota.
- Percepción de la seguridad y el rendimiento.
- Valoración global de la pista.

Dicho tratamiento consistió en un análisis descriptivo (medias y desviaciones típicas) de cada una de las variables. A continuación se realizó un análisis no paramétrico de la varianza (Kruskal-Wallis) para conocer si existían diferencias estadísticamente significativas en la percepción de las propiedades de las pistas y si percibían como no adecuada la pista con propiedades fuera de los valores de referencia y como adecuada la pista cuyas propiedades se encontraban dentro de los rangos establecidos. El nivel de significación fue fijado en $p < 0.05$. Finalmente se realizó un análisis descriptivo o tabulación cruzada para analizar los porcentajes de opiniones fuera de lo esperado.

En este estudio no se tuvieron en cuenta variables independientes, sino variables de control con el objetivo de homogeneizar al máximo la muestra de la población objeto de estudio. Dichas variables de control fueron:

- Edad de los deportistas.
- Pista en la que practican pádel habitualmente.
- Tiempo dedicado a la práctica del pádel a la semana (horas).
- Experiencia en la práctica del pádel (años).

4.4.2. Validación tras circuito controlado

Teniendo en cuenta la importancia de la interacción entre el calzado y el pavimento deportivo sobre el rendimiento y la salud de los deportistas, el objetivo de este apartado fue validar los valores de referencia identificados teniendo en cuenta el calzado que actualmente se comercializa como idóneo para la práctica del pádel. Esta validación se realizó atendiendo a una evaluación objetiva del rendimiento y a la percepción subjetiva de los deportistas.

A continuación se muestra el proceso seguido para alcanzar el objetivo señalado:

1. Selección de la pista sobre la que realizar la validación.
2. Cálculo del tamaño de muestra y selección de los deportistas.

3. Selección del calzado a utilizar durante los ensayos y evaluación de las propiedades mecánicas de las zapatillas seleccionadas.
4. Diseño y validación de un circuito considerando los gestos deportivos identificados en el apartado 3.2.2 como más relevantes durante la práctica del pádel.
5. Diseño y validación de una encuesta que permita analizar la percepción de los deportistas con respecto a la interacción entre el calzado y el pavimento y la pelota y la superficie de juego, incluyendo aspectos relacionados con el rendimiento y la salud.
6. Definición del protocolo de ensayo y realización del estudio de campo.
7. Tratamiento estadístico de los resultados.

A continuación se describe de forma detallada la metodología seguida en cada una de las tareas mencionadas.

4.4.2.1. Selección de la pista sobre la que realizar la validación de los valores de referencia

El objetivo de la validación con diferentes modelos de zapatilla fue detectar si los valores identificados eran percibidos como adecuados con modelos de zapatillas con características diferentes. Por ello, la pista seleccionada debía contar con propiedades dentro de dichos valores de referencia, por lo que se seleccionó la utilizada en la validación tras la disputa de un partido. Dicha pista está ubicada en la ciudad de Valencia y fue codificada como D_1.

4.4.2.2. Cálculo del tamaño de muestra y selección de los deportistas

4.4.2.2a. Cálculo de la muestra de estudio

Teniendo en cuenta que el objetivo de este estudio era validar los valores de referencia a partir de la percepción subjetiva de los deportistas, se fijó como condición necesaria garantizar la existencia de una correlación entre la interacción del calzado y el pavimento percibida por los deportistas y las propiedades mecánicas de la superficie de juego. Por tanto, el cálculo del tamaño de muestra se realizó de acuerdo a la siguiente ecuación (Vallejo, 2012):

$$n = \frac{8}{r_{\alpha=0.05}^2}$$

Donde:

n = tamaño de muestra.

r = tamaño del efecto (valor de las correlaciones más pequeñas que se quieren encontrar).

El uso de esta fórmula supone un nivel de confianza $\alpha = 0.05$ y una potencia de test de 80 - 90%. El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados obtenidos se ajusten a la realidad.

Como se ha comentado con anterioridad, según algunos estudios (Witana et al., 2009; Young et al., 2004) el coeficiente de correlación (r) entre las propiedades mecánicas de elementos como el pavimento deportivo o el calzado y la percepción de los usuarios se sitúa alrededor de 0.3-0.4. Sin embargo, los mismos autores encontraron que esta correlación ascendía hasta 0.8 cuando se trataba de deportistas experimentados, lo que implica que se requeriría un número menor de deportistas para obtener resultados fiables si el estudio se realizase con este tipo de jugadores. Dado que el coste en tiempo de realizar ensayos con deportistas es elevado, se decidió efectuar la validación con deportistas expertos. Siguiendo la ecuación mostrada al inicio de este apartado (Vallejo, 2012) y considerando $r=0.8$, el número de jugadores necesario para llevar a cabo el estudio de validación se fijó en 13.

4.4.2.2b. Selección de los participantes en el estudio

A partir de lo indicado en el apartado anterior, el requisito fundamental para seleccionar a los participantes en el estudio fue que contaran con una experiencia de práctica del pádel mayor de 5 años y que su tiempo de dedicación semanal superara las 4 horas (de acuerdo con la definición de deportista experto realizada por Stebbins (1992).

Por otro lado, dado que la complexión de los deportistas podía tener efecto sobre el rendimiento logrado durante la realización del circuito (Chaouachi et al., 2009; Knechtle et al., 2010; Rienzi et al., 2000), durante el proceso de selección se consideró su peso y su altura. Con esta finalidad se tuvo en cuenta que el Índice de Masa Corporal (IMC) estuviera dentro de los rangos de normalidad establecidos por la Organización Mundial de la Salud, de forma que representara a un porcentaje alto de la población. Por último, puesto que no se podía contar con un gran número de pares de cada uno de los modelos de zapatilla a evaluar, se fijó el tamaño del pie también como criterio de selección.

Con todo ello, las características de los participantes en el estudio fueron las siguientes:

- Sexo: masculino.
- Peso: 78.4 kg \pm 5%.
- Altura: 177.7 cm \pm 1.5%.
- IMC: 24.8 kg/cm² \pm 1.6%.
- Talla de pie: 43 – 44.
- Experiencia en la práctica del pádel: 8.3 \pm 2.1 años.
- Tiempo de práctica de pádel a la semana: 7.5 \pm 2.9 horas.

Debido a los criterios de selección impuestos y a la disponibilidad de la instalación, solo se pudo realizar la validación con 10 deportistas. De este modo, con el propósito de comprobar que la reducción del número de deportistas no tenía un efecto relevante sobre la potencia de test, se utilizaron la potencia observada y el tamaño del efecto para comprobar si era posible obtener conclusiones del estudio (ver apartado 3.4.2.7).

4.4.2.3. Selección del calzado a utilizar en la validación de las propiedades de la pista

El proceso llevado a cabo para la selección del calzado a utilizar se basó en estudios publicados sobre la identificación de las propiedades óptimas de los pavimentos deportivos desde el punto de vista de la salud y del rendimiento de los deportistas. Estos estudios han sido realizados principalmente en tenis y fútbol e incluyen en sus ensayos calzado considerado adecuado para el desarrollo del deporte al que están destinados y calzado no apropiado teniendo en cuenta las características del pavimento deportivo (Heidt et al., 1996; Livesay et al., 2006). Por tanto, para validar los valores de referencia se decidió seleccionar el calzado considerado más adecuado y el menos apropiado para la práctica del pádel desde el punto de vista de los deportistas y teniendo en cuenta su respuesta al interaccionar con el césped artificial.

En primer lugar se llevó a cabo un **grupo de discusión** con expertos que identificaron cuáles eran, según su criterio, las zapatillas que presentaban mejores y peores características para la práctica del pádel desde el punto de vista de la amortiguación de impactos y de la fricción o agarre. Debe tenerse en cuenta que el grupo de discusión contaba no solo con deportistas sino también con entrenadores y personas que comercializan calzado para pádel, por lo que sus aportaciones no se basaron solamente en la experiencia propia sino en la de sus clientes.

El tratamiento de los datos obtenidos en el grupo de discusión consistió en un análisis interpretativo del contenido. Este análisis se basó en un modelo descriptivo en el que las respuestas de los participantes se resumieron creando breves descripciones y ofreciendo además el significado de los datos obtenidos. Las ideas y opiniones más recurrentes fueron utilizadas como eje central del análisis, sobre las que se identificaron los datos de mayor recurrencia. El análisis fue realizado de forma sistemática por el moderador y contrastado con la investigadora.

Las zapatillas identificadas fueron testadas mediante ensayos mecánicos con el fin de comparar de forma objetiva su capacidad de amortiguación de impactos y su agarre y para facilitar la interpretación de los resultados obtenidos del estudio de campo.

A continuación se describe detalladamente el procedimiento tanto del grupo de discusión como de los ensayos mecánicos sobre las zapatillas.

4.4.2.3a. Grupo de discusión

Un grupo de discusión consiste en una conversación en grupo con un propósito y se compone de un conjunto de personas relativamente pequeño, de seis a ocho, guiado por un moderador experto con el fin de conocer qué opinan o qué saben sobre el tema de estudio. El objetivo del grupo de discusión desarrollado fue obtener información exhaustiva sobre cuáles eran, según la opinión de los participantes, las mejores y las peores zapatillas del mercado para la práctica del pádel desde el punto de vista de su interacción con el pavimento (capacidad de amortiguación y agarre). Las fases en las que desarrolló el grupo de discusión fueron:

1. **Selección de expertos.** Con el objetivo de obtener la mayor calidad de la información, la selección de los participantes se realizó entre jugadores de diferentes niveles, entrenadores y vendedores de productos destinados a la práctica del pádel. Participaron un total de ocho expertos (5 hombres y tres mujeres), de los cuales cuatro eran jugadores, tres eran monitores y uno era vendedor de calzado para la práctica del pádel.

2. **Planificación de la sesión.** La planificación de la sesión incluyó la preparación de un guión basado en la información que se deseaba obtener de los participantes y la selección de los instrumentos para el registro de la información. El guión utilizado fue el siguiente:

Identificación de las zapatillas mejores y peores del mercado (según su opinión).
¿Qué marca/modelo de zapatilla considerarías que es mejor para la práctica del pádel? ¿Qué marca/modelo de zapatilla considerarías que es peor para la práctica del pádel?
Identificación del comportamiento de las zapatillas en relación con las siguientes propiedades:
¿Cómo se comportan las zapatillas identificadas como mejores y peores en relación con los siguientes aspectos? - Agarre-Deslizamiento ¿Es adecuado? ¿En qué tipo de movimientos cobra importancia? ¿Tiene efecto sobre el rendimiento? ¿Tiene efecto sobre el riesgo de sufrir una lesión? - Amortiguación ¿Es adecuada? ¿Provoca mayor cansancio alguno de los modelos? ¿Provoca algún tipo de dolor articular alguno de los modelos?

3. **Desarrollo de la sesión.** La sesión se desarrolló siguiendo el guión mostrado. Durante la misma tanto el audio como las imágenes fueron grabados con el objetivo de realizar a posteriori un tratamiento de los datos más profundo.

4. **Tratamiento de datos.** El tratamiento de los datos obtenidos en el grupo de discusión consistió en un análisis interpretativo del contenido. Este modelo de análisis utiliza la grabación audio de la sesión y los registros de observación para contrastar los datos con el contexto en el que fueron expresados, roles de los participantes, etc.

A partir de la información obtenida se seleccionaron tres modelos de zapatillas: dos identificados como adecuados por los participantes en el grupo de discusión pero que presentaban suelas diferentes (espiga y omni) y un tercer modelo identificado como no adecuado para la práctica del pádel, aunque se comercializaba con este fin (ver apartado 5.4.2.2a).

4.4.2.3b. Evaluación de las propiedades de las zapatillas seleccionadas

Con el objetivo de validar las opiniones de los deportistas que participaron en el grupo de discusión y cuantificar tanto el agarre como la capacidad de amortiguación del calzado se llevó a cabo sobre los tres modelos la evaluación de ambas propiedades desde el punto de vista mecánico.

Evaluación de la fricción entre el calzado y el pavimento

De acuerdo a lo indicado en el apartado 2.7.3 no existe un ensayo normativo para la evaluación del agarre (fricción) entre el calzado y el pavimento, por lo que se decidió utilizar un equipo desarrollado por el Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV). El equipo consta de dos partes:

- Una estructura vertical que alberga dos cilindros de doble efecto: uno vertical ubicado sobre un pórtico desplazable a través de dos guías lineales para la aplicación de fuerza vertical y sobre el cual se fija un pie mecánico sobre el que se coloca el calzado a ensayar; y otro horizontal que reproduce el movimiento de avance del pie.
- Una estructura horizontal que consiste en una bancada sobre la que se coloca el pavimento a evaluar.

Las especificaciones técnicas del equipo de ensayos son las siguientes:

- Rango de fuerzas verticales: de 0 a 500 N con una precisión de ± 5 N.
- Rango de fuerzas horizontales: de 0 a 500 N con una precisión de ± 5 N.
- Rango de velocidad de avance: de 0.1 a 0.5 m/s con una precisión de ± 0.05 m/s.

La fuerza vertical ejercida durante una parada lateral en tenis es de alrededor de 1300 N, la fuerza horizontal es de aproximadamente 900 N (Dixon & Cooke, 2004) y la velocidad de deslizamiento se sitúa entre 3.00 y 3.76 m/s dependiendo de las características de la superficies (Ura et al., 2014), por lo que en pádel cabe esperar que sean del mismo orden de magnitud o menores debido a que las reducidas dimensiones de la pista no permiten a los jugadores alcanzar velocidades tan elevadas como en el tenis.

Por tanto, si bien el equipo de ensayos del IBV no es capaz de simular las fuerzas y velocidades de los movimientos reales, la realización del ensayo pretende caracterizar el comportamiento de la suela desde el punto de vista de la fricción con el pavimento deportivo con el objetivo de validar las opiniones del grupo de expertos e interpretar con mayor claridad las respuestas de los deportistas durante el estudio de campo.

Por tanto, aunque los coeficientes de fricción obtenidos durante la realización del ensayo no son comparables con los que se obtendrían durante la realización de los ensayos biomecánicos (debido a las fuerzas en juego y a la velocidad de realización del movimiento), cabe esperar que los modelos de zapatilla que presenten coeficientes de fricción mayores durante la realización del ensayo ofrecerán un mayor agarre al pavimento durante la realización de un gesto deportivo.

vo que implique un deslizamiento entre ambos. Este aspecto se discute en profundidad en el apartado 6.4.2.

Para la realización de este ensayo se coloca el calzado sobre una horma unida a un brazo neumático que desliza el calzado sobre el pavimento a una velocidad de desplazamiento fijada y aplicando una carga vertical dentro del rango especificado. En este caso, considerando los valores de velocidad de deslizamiento y fuerza vertical aplicadas en tenis, se seleccionaron los valores máximos (0.5 m/s y 500 N).

El pavimento utilizado fue césped artificial (monofilamento, 13 mm de longitud de fibra y relleno de arena hasta el 95% de la longitud total de la fibra) cuyo valor de fricción se encontraba dentro de los valores de referencia identificados. La comprobación de esta propiedad se realizó siguiendo el protocolo de medida y de cálculo del valor de fricción expuesto en el apartado 3.3.1.2a.

Dado que tanto el diseño del circuito como la encuesta realizada sobre los deportistas distinguen entre fricción durante inicios de carrera y en la realización de paradas laterales (ver apartados 4.4.2.4 y 4.4.2.5), el ensayo mecánico se realizó colocando las zapatillas en dos posiciones diferentes:

- Orientadas de forma que la maquina simulara el inicio de la carrera (Figura 4.8 a).
- Orientadas de forma que la maquina simulara la parada lateral (Figura 4.8 b).

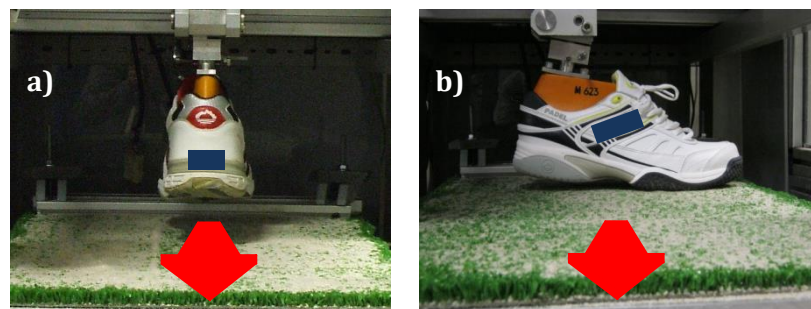


Figura 4.8. Ensayo mecánico de fricción: a) simula inicio de carrera; b) simula parada lateral.

Se realizaron tres repeticiones del ensayo en cada una de las posiciones con los tres modelos de zapatillas, siendo el resultado el valor medio de las medidas obtenidas en las distintas repeticiones.

El cálculo del coeficiente de fricción como cociente entre la fuerza horizontal necesaria para realizar el movimiento de avance y la fuerza vertical aplicada:

$$COF = \frac{F_h}{F_v}$$

Dicho cociente da lugar al coeficiente de fricción estático y dinámico:

- El coeficiente de fricción estático o cociente entre la resistencia que se debe superar para poner en movimiento un cuerpo con respecto a otro que se encuentra en contacto y la fuerza vertical que se le aplica.
- El coeficiente de fricción dinámico o cociente entre la resistencia que se opone al movimiento (una vez éste ya ha comenzado) y la fuerza vertical aplicada.

La siguiente figura muestra de forma gráfica el resultado obtenido del ensayo mediante el equipo desarrollado por el IBV (Figura 4.9):

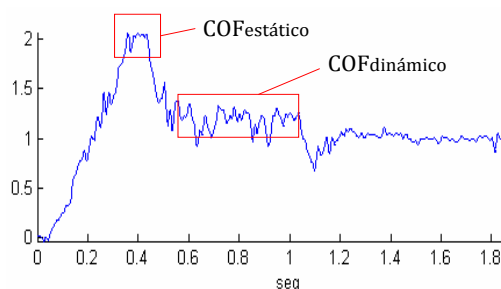


Figura 4.9. Curva Fh-Fv resultado del ensayo de fricción.

El cálculo del coeficiente de fricción estático y dinámico se realizó en dos zonas diferentes de la curva obtenida del ensayo (Figura 4.9), correspondientes a antes y después de iniciarse el movimiento respectivamente.

En la práctica del tenis, sobre todo cuando se realiza sobre tierra batida, los deportistas deslizan para la ejecución de la mayoría de los golpes, por lo que el coeficiente de fricción dinámico desempeña un papel fundamental en la salud y el rendimiento (Dixon & Cooke, 2004; Stiles & Dixon, 2006; Ura et al., 2014).

Sin embargo, en el pádel los deportistas no deslizan en sus desplazamientos ni en la ejecución de los golpes y requieren un agarre adecuado para lograr el máximo rendimiento en los inicios de carrera. Por tanto, lograr que el agarre sea suficiente para no deslizar en los desplazamientos y en los inicios de ca-

rrera (rendimiento) y que, al mismo tiempo, no sea excesivo para reducir el riesgo de lesión por bloqueo del tobillo en las paradas laterales (salud) (Fong et al., 2012; Pluim et al., 2006) pasa por contar con un adecuado coeficiente de fricción estático entre el calzado y el pavimento (Cawley et al., 2003; Dixon & Cooke, 2004; Stucke et al., 1984).

En cada una de las posiciones se realizaron tres repeticiones del ensayo con cada zapatilla, siendo el resultado el valor medio del coeficiente de fricción estático obtenido en cada una de dichas repeticiones.

Evaluación de la capacidad de amortiguación de impactos del calzado seleccionado

Dado que no existe normativa para la evaluación de la capacidad de amortiguación de impactos del calzado (apartado 2.7.3), se decidió utilizar un equipo desarrollado por el IBV basado en la simulación del impacto de talón producidos durante la carrera que determina la rigidez dinámica y el ratio de energía absorbida por parte del calzado cuando es sometido a dicho impacto (Figura 4.10).



Figura 4.10. Equipo desarrollado por el IBV para la evaluación de la capacidad de amortiguación de impactos del calzado.

Durante la carrera, el momento crítico para la absorción de impactos es el instante en el que el talón contacta con el suelo (Robbins & Gouw, 1990). Durante ese contacto, que dura entre 15 y 35 ms, una fuerza de entre 1.25 y 4 veces el peso del cuerpo (dependiendo de factores como la velocidad de carrera, el calzado utilizado, las características del pavimento, etc.) (Ferro, 2001) solicita la zona del talón de la planta del pie. Atendiendo a ello, las variables de control que caracterizan el test de absorción de impactos son la fuerza y duración del impacto y el punto de aplicación de la carga. Durante la práctica del tenis, la fuerza de impacto en el talón alcanza entre 2.6 y 2.9 veces el peso cor-

poral y el tiempo de apoyo alrededor de 24 ms, dependiendo de la superficie de juego (Stiles & Dixon, 2006), por lo que en el pádel se podría asumir que son del mismo orden de magnitud.

El equipo desarrollado por el IBV es capaz de aplicar fuerzas de impacto de 500 N (lo que supone aproximadamente el 60% del peso corporal de una persona de 80 kg) con una duración de 36 ms.

Aunque se desconoce si estos parámetros simulan las condiciones reales a las que es sometido el calzado destinado a la práctica del pádel, sí es posible caracterizar la capacidad de amortiguación de impactos de la suela, lo que servirá para interpretar las respuestas de los deportistas durante la validación subjetiva de los valores de referencia.

Las variables que caracterizan la capacidad de absorción de impactos del calzado son la rigidez dinámica y el ratio de disipación de energía de la suela:

- Rigidez dinámica (R_D): Describe la fuerza necesaria para comprimir el material. En términos generales, materiales con una baja rigidez dinámica son más apropiados para disipar las fuerzas de impacto.

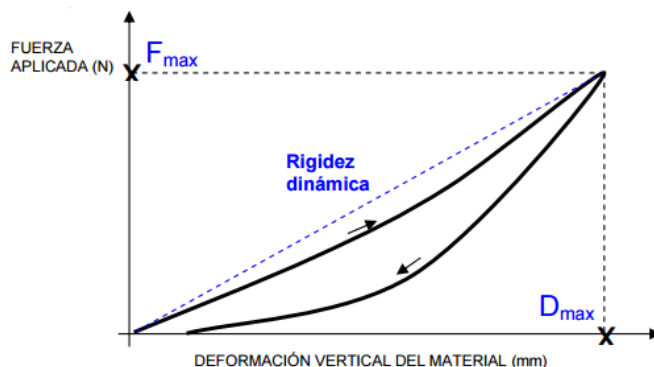


Figura 4.11. Curva fuerza-deformación resultado de los ensayos de absorción de impactos.

El cálculo de la rigidez dinámica viene determinado por el cociente entre la fuerza máxima aplicada sobre el material y la deformación vertical máxima que éste ha experimentado:

$$R_D = \frac{F_{max}}{D_{max}}$$

- Ratio de Energía Absorbida (R_{EA}): Representa la capacidad del material de absorber la energía que se le aplica en el impacto. Un alto ratio de disipación representa una alta capacidad del material para reducir la energía que llega al pie y, por tanto, aumenta la capacidad de absorción de impactos del material.

$$R_{EA} = \frac{E_d}{E_a}$$

Donde:

E_d es la energía disipada.

E_a es la energía aplicada.

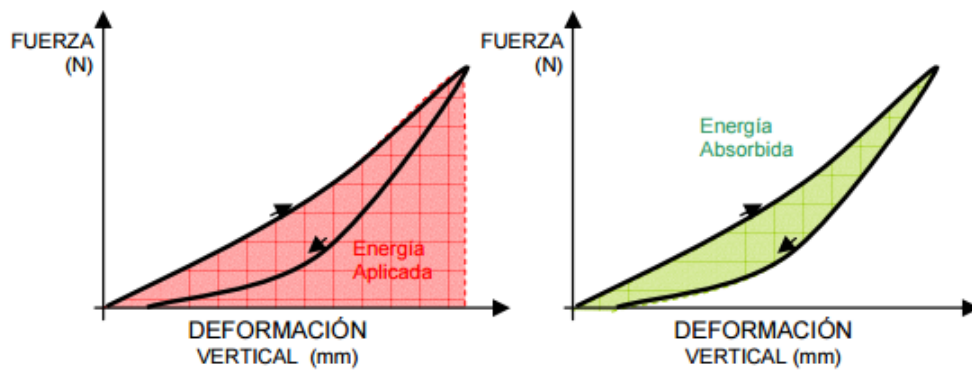


Figura 4.12. Curva fuerza–deformación resultado de los ensayos de absorción de impactos.

Sobre cada modelo de zapatilla se efectuó un total de diez impactos, siendo la R_D y la R_{EA} el valor medio de las diez repeticiones.

Debe tenerse en cuenta que la capacidad de amortiguación de impactos de la suela del calzado depende del punto de aplicación de las cargas, pues su geometría no es homogénea. Por tanto, el punto en el que realizar el ensayo se convierte en un aspecto relevante para la caracterización de sus propiedades. En el test de absorción de impactos se aplica la carga en el punto medio del talón a un 15% de la longitud del pie, contando desde el punto más trasero del talón.

Tratamiento estadístico de los resultados

Para la realización del tratamiento estadístico de los resultados obtenidos de los **ensayos mecánicos** sobre las **zapatillas** se consideraron las siguientes variables:

- Variables dependientes: coeficiente de fricción estático frontal y lateral, rigidez dinámica y ratio de energía absorbida.
- Variable independiente: modelo de zapatilla.

Desde el punto de vista del efecto, el modelo de zapatilla se introdujo en el estudio como factor aleatorio ya que no representa a todas las zapatillas con un dibujo de suela determinado, sino que simplemente se desea identificar las diferencias entre unos modelos concretos.

En primer lugar se realizó un análisis de estadísticos descriptivos de los resultados obtenidos (media y desviación típica). Posteriormente se comprobó la distribución Gaussiana (normal) de los datos mediante el test de Kolmogorov-Smirnov y la homocedasticidad mediante la prueba de Levene. Tras dichas comprobaciones se llevó a cabo un análisis de la varianza (ANOVA) mediante el procedimiento Modelo Lineal General Univariante con el objetivo de identificar si existían diferencias significativas entre los distintos modelos de zapatillas. El nivel de significación fue establecido en $p < 0.05$.

4.4.2.4. Diseño del circuito

El circuito tenía como objetivo analizar cómo valoraban los deportistas la interacción entre el pavimento y los diferentes modelos de calzado seleccionados en el apartado anterior y cómo afectaba esta interacción a su rendimiento real (medido en tiempo de ejecución del circuito) y percibido, así como a su percepción de seguridad.

Para ello se diseñó un circuito en el que se incluyeron los gestos más relevantes durante la práctica del pádel que implican una interacción entre el calzado y el pavimento (García Acedo & Ares Bella, 2007). A partir del trabajo realizado en el apartado 4.2.2, se desprende que estos movimientos son los siguientes:

- Desplazamientos laterales y frontales (relacionados con la seguridad y el rendimiento).
- *Split-step* (relacionados con la seguridad).
- Saltos tras remate (relacionados con la seguridad).

El circuito mostrado a continuación (Figura 4.13) incluye desplazamientos y *split-steps*. Tras superar el punto 1 del esquema, los deportistas debían realizar el resto del circuito a máxima velocidad, siendo el tiempo invertido en su realización un indicador del rendimiento alcanzado.

Los saltos *split-step* se realizaron previamente a la activación de las fotocélulas para la evaluación del tiempo invertido en el circuito ya que este movimiento es utilizado por los deportistas para lograr un mayor rendimiento en la ejecución de los movimientos.

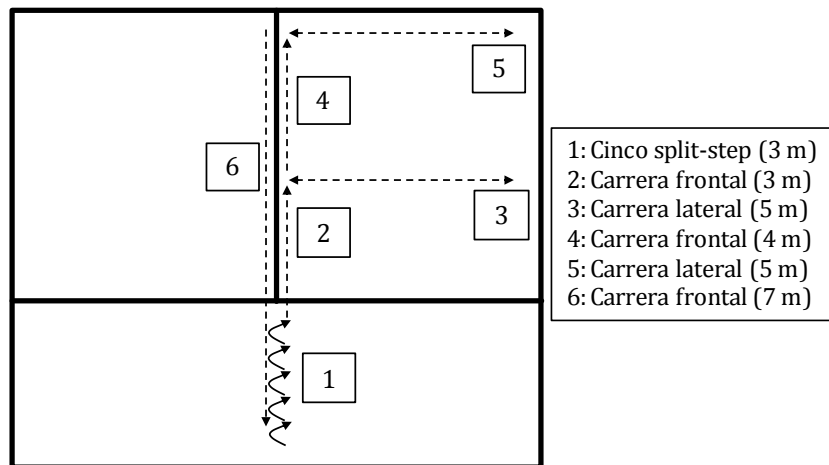


Figura 4.13. Circuito diseñado para la evaluación del rendimiento (media pista).

Los saltos, dado que se relacionan principalmente con la seguridad, se realizaron fuera del circuito cronometrado con el objetivo de que no afectaran al rendimiento (tiempo de realización del circuito). En la ejecución del salto con remate (realizado siempre tras finalizar el circuito) los deportistas debían saltar con los dos pies, simulando un remate real.

4.4.2.5. Diseño de la encuesta

Dado que en esta etapa de la validación el objetivo era centrarse en el efecto del calzado sobre la percepción del deportista de su interacción con el pavimento, se elaboró una nueva encuesta. Para ello se realizó una revisión bibliográfica de cuestionarios similares y se planteó una batería de preguntas relacionadas con los siguientes aspectos:

- El agarre de la zapatilla al pavimento al inicio de carrera y en las paradas laterales.
- La facilidad para realizar cambios de ritmo.
- La capacidad de amortiguación de impactos percibida durante los apoyos y los saltos.
- La sensación de seguridad percibida.
- El rendimiento deportivo percibido.

La valoración de los deportistas podía variar del 1 al 5, correspondiendo el valor 1 a un nivel de cumplimiento muy bajo y 5 a un nivel de cumplimiento muy alto.

De la misma forma en que se procedió para diseñar la encuesta para la identificación de los valores de referencia, se diseñó una primera versión que fue revisada por un grupo de expertos integrado por un investigador sociólogo especializado en la elaboración de encuestas, un doctor en ciencias de la actividad física y el deporte y dos jugadores expertos de pádel (participantes en competición a nivel autonómico, ya que los deportistas que iban a intervenir en esta fase de validación competían a ese nivel). La encuesta se les envió por e-mail y realizaron sus aportaciones a través del mismo canal.

Tras la modificación de la encuesta inicial a partir de las aportaciones realizadas por los revisores y teniendo en cuenta que el nivel de entendimiento de las preguntas por su parte fue alto, se dio por válida en la forma que recoge el Anexo III.

4.4.2.6. Realización de los ensayos

Las tareas que se llevaron a cabo durante los ensayos fueron: calentamiento inicial por parte de los deportistas, firma de la hoja de consentimiento (tras ser informados de los detalles del ensayo), ejecución de la prueba y, por último, evaluación de su opinión mediante la encuesta diseñada y validada. A continuación se muestra de forma detallada el protocolo seguido:

1. **Calentamiento inicial:** los participantes, antes de iniciar el ensayo, realizaban un calentamiento libre de 5 minutos. Pasado este tiempo, terminaban el calentamiento con *sprints* y cambios de ritmo con el objetivo de prepararse adecuadamente para llevar a cabo la prueba.
2. **Información a los deportistas** sobre el objetivo del estudio y en qué consistían las pruebas que iban a realizar (circuito y remate con salto). Una vez informados, los deportistas daban su consentimiento por es-

crito para la utilización de las opiniones expresadas en la realización de este estudio (Anexo IV).

3. **Realización de la prueba** (circuito + remate con salto). Como se ha descrito en el apartado 4.4.2.4, el circuito empezaba con cinco *split-steps* a partir de los cuales se iniciaba la medida del tiempo de realización del resto del circuito; dicho tiempo se medía mediante fotocélulas (OMRON - E3S-AT31) las cuales activaban el cronómetro (TAG HEUER - CHRONOPRINTER 502) la primera vez que el deportista cortaba el haz entre ambas fotocélulas (al iniciar el circuito) y lo detenían cuando lo cortaba de nuevo (al finalizar el circuito) (Figura 4.14).



Figura 4.14. Realización de los ensayos de evaluación del rendimiento.

Tras la realización de tres repeticiones del circuito a intensidad máxima, los deportistas ejecutaban tres repeticiones del salto con remate. Esta última prueba se efectuó sin pelota, de forma que los deportistas simulaban el golpe, concentrándose únicamente en la percepción de la amortiguación de impactos y no en el golpeo de la pelota.

El orden de utilización de las zapatillas en los ensayos fue aleatorio con el objetivo de evitar que factores como el cansancio y/o el aprendizaje en la realización del circuito tuvieran algún efecto sobre los resultados, tanto desde el punto de vista del rendimiento como de la opinión de los jugadores.

4. **Análisis de opinión.** Tras la finalización de las tres repeticiones tanto del circuito como del salto con remate, los deportistas fueron entrevistados siguiendo la encuesta desarrollada (Anexo III) (Figura 4.15).

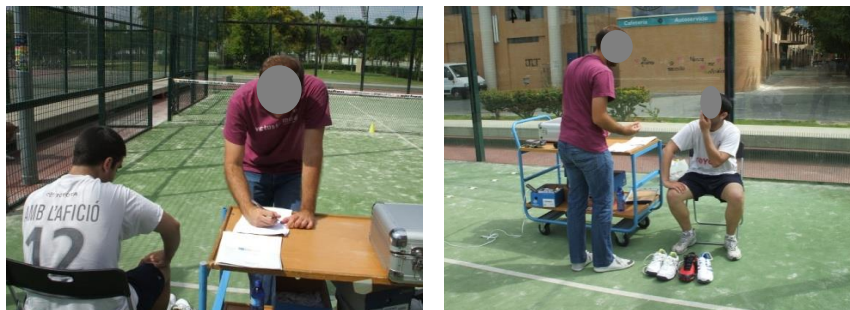


Figura 4.15. Realización de la encuesta a los deportistas.

El tiempo de duración del ensayo para cada uno de los sujetos fue de aproximadamente una hora.

4.4.2.7. Tratamiento estadístico de los resultados

El tratamiento de los datos obtenidos del **estudio de campo** se llevó a cabo mediante el mismo software (SPSS 16.0). En primer lugar se realizó un análisis de estadísticos descriptivos sobre los resultados de la evaluación del rendimiento (media y desviación típica). Al igual que en el caso anterior, también se comprobó la distribución Gaussiana (normal) de los datos mediante el test de Kolmogorov-Smirnov y la homocedasticidad mediante la prueba de Levene. Tras dichas comprobaciones se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) mediante el procedimiento Modelo Lineal General Univariante con el objetivo de comprobar si la zapatilla generaba diferencias significativas ($p < 0.05$) en el tiempo invertido por los deportistas al realizar el circuito definido. En dicho análisis se introdujo el deportista como factor aleatorio y se analizó la interacción de primer orden entre el deportista y la zapatilla.

Las variables incluidas en el estudio fueron las siguientes:

- Variables dependientes: tiempo invertido en la realización del circuito, variables de percepción y variables de preferencia.
- Variable independiente: modelo de zapatilla.

Desde el punto de vista del efecto, el modelo de zapatilla como factor aleatorio y el deportista como factor fijo.

Posteriormente, a partir de los resultados de la evaluación subjetiva se obtuvieron las tablas de contingencia que permitieron identificar la frecuencia con la que cada deportista asignó una valoración a cada modelo de zapatilla. Dado que el estudio se realizó sobre una pista cuyas propiedades se encontraban

dentro de los valores de referencia identificados, se observaron los porcentajes de respuestas en las que los deportistas indicaban que las propiedades de la interacción eran adecuadas con las diferentes zapatillas.

Posteriormente se llevó a cabo un análisis no paramétrico de la varianza utilizando el estadístico Kruskal-Wallis para conocer si existían diferencias significativas entre la percepción de la interacción calzado-pavimento que tenían los jugadores (de acuerdo a cada una de las variables recabadas) al utilizar las diferentes zapatillas seleccionadas en el grupo de discusión.

4.5. Fase 4. Desarrollo de una propuesta de norma técnica

Las normas técnicas que regulan las propiedades de los pavimentos deportivos de césped artificial incluyen tanto las normas que garantizan su función deportiva como las que velan por la durabilidad de sus propiedades, a lo que se denomina función técnica del pavimento (ver apartado 2.7.2.3).

En muchos casos estas normas incluyen un apartado relativo a anexos en el que se amplía la información sobre aspectos propios de los ensayos a llevar a cabo y la metodología a seguir. En esta línea, el primer borrador de propuesta de norma técnica se dividió en tres bloques, al igual que todas las normas técnicas que regulan las propiedades de los pavimentos deportivos:

- Un primer bloque que recogía los ensayos a realizar y las características que debía cumplir desde el punto de vista de su función técnica (ver apartado 2.7.2.3).
- Un segundo bloque que recogía los ensayos a efectuar y las características que debía cumplir desde el punto de vista de su función deportiva (ver apartado 2.7.2.3). La evaluación de la función deportiva puede realizarse tanto en laboratorio, sobre una muestra, como *in situ* en una instalación.
- Un tercer bloque, denominado Anexos, recopiló la información relativa a las zonas a evaluar dentro de las pistas, los ensayos a efectuar para la comprobación de la tipología de césped y las recomendaciones generales sobre el mantenimiento a practicar.

A continuación se describe la información incluida en cada uno de los bloques indicados, así como el proceso llevado a cabo para activar el desarrollo de la norma dentro del comité técnico de normalización pertinente.

4.5.1. Función técnica

Dado que el borrador de norma a desarrollar tenía como objetivo regular pavimentos deportivos de césped artificial, los requisitos relacionados con la función técnica se fijaron atendiendo a la norma vigente encargada de regular este tipo de pavimentos (UNE-EN 15330-1) puesto que dicha norma fija, en la mayoría de los casos, los mismos requerimientos técnicos a todas las superficies de césped artificial independientemente del deporte al que estén destinadas.

Los ensayos que incluye dicha norma para regular la función técnica de los pavimentos deportivos de césped artificial y los documentos técnicos que describen el procedimiento de cada uno de ellos se muestran a continuación:

4.5.1.1. Tracción de la alfombra de hierba artificial

Comprueba la fuerza que resiste la moqueta de césped artificial a tracción de acuerdo a la norma EN ISO 13934-1.

4.5.1.2. Resistencia a tracción de la fibra

Evalúa la resistencia a tracción que soporta la fibra de la hierba artificial cuando se ensaya de acuerdo a la norma EN 13864.

4.5.1.3. Resistencia al envejecimiento artificial

Tras someter la fibra a envejecimiento artificial conforme a la norma EN 14836, se debe comprobar que:

- La variación de la resistencia a tracción de la fibra envejecida respecto de la original cuando se ensaya de acuerdo a la norma EN ISO 13934-1.
- La solidez del color de la fibra envejecida respecto de la original al ensayarla de acuerdo a la norma EN 20105-A02.

4.5.1.4. Resistencia de las juntas

Comprueba la resistencia de las juntas de acuerdo a la norma EN 12228 antes y después de un envejecimiento en agua caliente de acuerdo a la norma EN 13744.

4.5.1.5. Resistencia al arranque de la fibra

Evalúa la fuerza necesaria para arrancar la fibra de la moqueta según la norma ISO 4919 antes y después de envejecer la moqueta en un baño de agua caliente siguiendo la norma EN 13744.

4.5.1.6. Permeabilidad

Evalúa la infiltración vertical de agua de acuerdo a la norma EN 12616.

4.5.2. Función deportiva

Los ensayos a llevar a cabo para la evaluación de la función deportiva de los pavimentos de césped artificial para pádel y los rangos en que deben encontrarse los resultados de los mismos se han identificado durante el desarrollo de esta tesis doctoral.

En el apartado que regula la función deportiva dentro de la propuesta de norma desarrollada se incluyen los ensayos de amortiguación, fricción y bote vertical de pelota. En dicho apartado se hace referencia a las normas que regulan el procedimiento de cada uno de ellos, siendo la UNE-EN 14808, UNE-EN 13036-4 y UNE-EN 12235, respectivamente.

4.5.3. Anexos

El último bloque de la norma, correspondiente a los anexos, recoge tres apartados que se describen a continuación.

4.5.3.1. Zonas a evaluar en las pistas de pádel

Las zonas a evaluar dentro de las pistas de pádel se han definido de acuerdo al uso que los deportistas realizan de la superficie teniendo en cuenta el desarrollo del juego (ver apartado 3.3.1.2a).

4.5.3.2. Identificación de producto

La identificación de producto se refiere a aquellos ensayos que se llevan a cabo para comprobar la tipología del césped artificial, que viene definida por la longitud de fibra, el número de puntadas, el dtex, la granulometría del relleno, etc. (ver apartado 2.5.3.2). Este apartado del anexo recoge los ensayos a realizar para comprobar que un césped coincide con el definido en la ficha técnica de descripción del producto de césped artificial.

4.5.3.3. Recomendaciones de mantenimiento

El último apartado fue incorporado a petición de los vocales del SC3 del CTN147 e incluyó recomendaciones básicas para el mantenimiento de las superficies de césped artificial con el objetivo de mantener el mayor tiempo posible unas propiedades adecuadas para la práctica del pádel.

4.5.4. Activación del proceso de desarrollo de la norma

La activación del proceso para llevar a cabo el desarrollo de una nueva norma debe realizarse a través del Comité Técnico de Normalización (CTN) correspondiente. Con este propósito, la investigadora contactó, como secretaria del Subcomité SC3 del CTN147, encargado de la regulación de los pavimentos deportivos, con la presidencia de dicho subcomité (ostentada por el Consejo Superior de Deportes) para proponer el desarrollo del mencionado documento. Una vez obtenido el visto bueno de la presidencia, se comunicó a AENOR la intención del citado CTN de elaborar un documento técnico que regulara las propiedades de los pavimentos de césped artificial destinados a la práctica del pádel.

Tras la realización de dicha comunicación, desde la Secretaría se circuló a los vocales del Subcomité la información relativa a la intención de desarrollar el proyecto de norma técnica y se abrió un plazo de un mes para que éstos indicaran su interés en participar en la elaboración de la misma. Una vez transcurrido este mes, se envió el documento técnico generado en esta tesis doctoral con el propósito de trabajar en una primera versión del documento final.

Actualmente la norma está en fase de enriquecimiento por los miembros del grupo de trabajo de los vocales del SC3 del CTN147 que están participando en el desarrollo del documento.

Capítulo 5

Resultados

Resumen del capítulo:

En este capítulo se presentan los principales resultados de la investigación. En primer lugar se detallan de manera pormenorizada los criterios seguidos para la selección de los ensayos a realizar sobre las superficies deportivas destinadas a la práctica del pádel. A continuación se especifican los resultados alcanzados durante la realización del estudio de campo correspondiente a la evaluación de las pistas tanto desde el punto de vista mecánico como subjetivo. A partir de dichos resultados se identifican los valores de referencia de cada una de las propiedades evaluadas sobre las superficies de juego. Por último, se exponen los resultados obtenidos de la validación de los valores de referencia identificados como adecuados para garantizar el rendimiento y la salud de los deportistas durante la práctica del pádel.

5.1. Introducción

Como se ha descrito en el capítulo anterior, material y métodos, el estudio se ha llevado a cabo en cuatro fases:

- Fase 1. Selección de los ensayos a realizar. Los resultados de esta fase permitieron identificar las pruebas a realizar sobre los pavimentos de césped artificial para pádel.
- Fase 2. Estudio de campo. Los resultados obtenidos en esta fase determinan las propiedades mecánicas de las pistas y la percepción de los deportistas con respecto a dichas propiedades.
- Fase 3. Establecimiento de los valores de referencia. Del análisis cruzado de los resultados de la evaluación mecánica de las propiedades y la percepción de los deportistas se establecieron los valores de referencia que deben presentar las superficies de césped artificial para pádel desde el punto de vista de la seguridad y el rendimiento.
- Fase 4. Validación de los valores de referencia. Finalmente se validaron los valores de referencia identificados mediante la valoración subjetiva de los deportistas.

A continuación se describen los resultados obtenidos en cada una de las fases indicadas.

5.2. Fase 1. Selección de los ensayos a realizar

5.2.1. Identificación de los gestos deportivos que implican interacción calzado-pavimento y pelota-pavimento durante la práctica del pádel

La siguiente tabla muestra los resultados del análisis cuantitativo de los movimientos citados realizado sobre cuatro partidos correspondientes al campeonato "Pádel Pro Tour 2010" (Tabla 5.1).

5. Resultados

Tabla 5.1. Resultados del análisis cuantitativo de los movimientos del pádel que implican una interacción entre el calzado y el pavimento.

Movimientos		Totales (4 partidos)	Media por partido	Porcentaje del total (%)
Saltos	<i>split-step</i>	424	106	17.32
	con remate	160	40	6.54
Desplazamientos	laterales	904	226	36.93
	frontales	748	187	30.56
	hacia atrás	76	19	3.10
Giros	pivote	136	34	5.56

Estos resultados muestran que los movimientos más frecuentes son los desplazamientos laterales y frontales, seguidos de los *split-steps*:

- En las acciones que implican saltos, el movimiento realizado con mayor frecuencia es *split-step* (17.32%), muy por encima de la frecuencia del salto con remate (6.54%).
- En cuanto a los desplazamientos, los movimientos más frecuentes son el desplazamiento lateral (36.93%) seguido de la carrera frontal (30.56%).
- La realización de giros con pivote y los desplazamientos hacia atrás presentan una frecuencia menor que el resto de movimientos analizados (5.56 y 3.10%, respectivamente).

Con respecto a los golpes de pelota más frecuentes, a continuación se muestran los resultados obtenidos a partir de los cuatro partidos analizados (Tabla 5.2):

Tabla 5.2. Resultados del análisis cuantitativo de los golpes de pelota.

Golpes		Totales (4 partidos)	Media por partido	Porcentaje del total (%)
Drive/revés	Directo	112	28.00	1.84
	Indirecto	886	221.62	14.55
Bandeja	Directo	158	39.62	2.60
	Indirecto	896	224.00	14.70
Remate	Directo	1082	270.62	17.76
	Indirecto	140	35.00	2.30
Globo	Directo	66	16.38	1.07
	Indirecto	1250	312.62	20.52
Volea	Directo	1502	375.62	24.66

Se puede observar que los golpes a los que recurren los deportistas con mayor frecuencia son la volea (24.66%) y el globo indirecto (20.52%), seguidos del remate directo (17.76%), la bandeja indirecta (14.70%) y el drive directo (14.55%).

5.2.2. Análisis de la relevancia de los gestos atendiendo a su influencia sobre el rendimiento y la salud

Una vez identificada la frecuencia con la que se ejecutan los diferentes movimientos y golpes de pelota durante la práctica del pádel, para la selección de los ensayos a realizar se analizó la relevancia de los distintos movimientos atendiendo al rendimiento y a la salud de los deportistas. El objetivo principal de este análisis fue identificar si existen movimientos que, pese a presentar una frecuencia de realización baja, suponen un riesgo para la salud de los deportistas.

5.2.2.1. Interacción jugador-pavimento

Analizando los movimientos que implican saltos, el ***split-step*** es el realizado con mayor frecuencia por los deportistas. Sin embargo, desde el punto de vista de la seguridad, la altura desde la que se produce el aterrizaje no supone unos impactos mayores para el sistema musculoesquelético que los propios de la carrera, hecho que justificaría la realización de un ensayo para la evaluación de la capacidad de amortiguación de impactos del pavimento. Desde el punto de vista del rendimiento, las propiedades del pavimento no tendrán efecto sobre la realización de este gesto. Por tanto, este movimiento no se considera de elevada relevancia desde el punto de vista de los criterios a tener en cuenta para la selección de los ensayos a efectuar sobre los pavimentos deportivos.

Por otro lado, el **salto con remate**, aunque presenta una frecuencia reducida de ejecución con respecto a otros movimientos, supone niveles de impacto elevados para el sistema musculoesquelético de los deportistas que pueden generar lesiones graves como roturas óseas (Hoeberigs, 1992; Jones, 1983; Macera, 1992) o problemas de artritis (Radin et al., 1973; Radin et al., 1972). Así mismo, los niveles de impacto demasiado bajos implican una reducción del rendimiento durante la carrera o el salto (ver apartado 2.4). Por tanto, dada la relevancia que durante la realización de este gesto tiene la interacción entre el calzado y el pavimento para la salud y el rendimiento de los deportistas, se deberá analizar la capacidad de amortiguación de impactos de la superficie de juego.

En otra línea, la relación de los **desplazamientos** con la seguridad y el rendimiento se basa principalmente en el agarre entre la superficie de juego y el calzado durante la realización del movimiento. Para la práctica deportiva de forma segura y con un rendimiento adecuado es necesario contar con un agarre óptimo que permita al deportista lograr el mayor rendimiento con la máxima seguridad para su salud. Una tracción lineal deficiente provocará resbalones, aumentando el riesgo de lesión y disminuyendo el rendimiento. Así mismo, una excesiva tracción lineal aumentará el riesgo de lesión debido a un bloqueo del pie en situaciones en las que el deportista esperaría deslizar (Kaila, 2007; Nigg, 2013; Pluim et al., 2006; Schrier et al., 2014; Torg et al., 1974). La lesión más frecuente en estos casos es el esguince de tobillo (Pluim et al., 2006).

Debido a que este tipo de bloqueos, que provocan inestabilidades en el pie, no se producen durante las carreras frontales, en este tipo de movimientos el agarre entre el pavimento y la suela de la zapatilla afectará principalmente al rendimiento, siendo menor su relación con el riesgo de sufrir lesión (Cawley et al., 2003).

Desde el punto de vista de los desplazamientos hacia atrás, el efecto del agarre sobre el rendimiento o el riesgo de sufrir una lesión se reduce debido principalmente a los menores requerimientos de este gesto por la menor rapidez de realización de los movimientos.

Con todo lo expuesto, considerando tanto su frecuencia como el riesgo que supone una inadecuada tracción lineal, resulta imprescindible seleccionar un ensayo para evaluar esta propiedad.

En relación con los **giros**, las lesiones debidas a una excesiva tracción rotacional se producen principalmente en deportes como el fútbol y/o el rugby, en los que los deportistas utilizan calzado con tacos (De Clercq et al., 2014; Galbusera et al., 2013; Kaila, 2007; Schrier et al., 2014; Shorten & Himmelsbach, 2002). En los deportes en que no se utiliza este tipo de calzado, los momentos torsores que se producen son menores, siendo capaces los ligamentos de soportarlos en la mayoría de los casos (Torg et al., 1974). Las lesiones de rodilla más frecuentes durante la práctica del pádel son las tendinitis (Navarro, 2013), relacionadas principalmente con los bloqueos de la pierna por un agarre excesivo del pavimento durante los desplazamientos laterales. Desde el punto de vista del rendimiento, no se ha encontrado ningún estudio que relacione la tracción rotacional del calzado sin tacos con el rendimiento deportivo. Por tanto, teniendo en cuenta que los giros son uno de los movimientos efectuados con menor frecuencia, se descarta la realización de un ensayo para la evaluación de esta interacción entre el jugador y el pavimento.

La siguiente figura muestra de forma gráfica la ordenación de los diferentes movimientos de los deportistas desde el punto de vista de los dos criterios tenidos en cuenta para la selección de los ensayos: la frecuencia de aparición y la importancia de los mismos para el rendimiento y la salud de los deportistas (Figura 5.1):

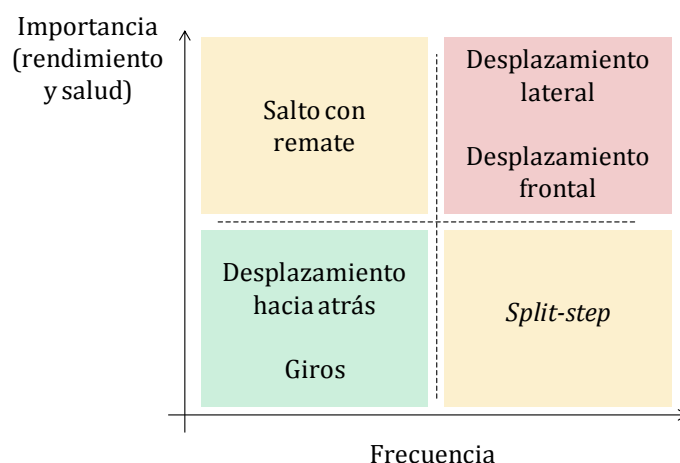


Figura 5.1. Representación de los diferentes movimientos en relación con su frecuencia de aparición y la importancia para el rendimiento y la salud de los deportistas.

5.2.2.2. Interacción pelota-pavimento

Los estudios encontrados sobre la interacción entre la pelota y los jugadores de tenis basan principalmente el riesgo de lesión de los deportistas en la técnica de juego, por lo que se observa una mayor incidencia de lesión en miembro superior en deportistas jóvenes y *amateurs* (Kibles, 2000; Bylak, 1998). El mismo efecto del nivel de juego sobre las lesiones en miembro inferior fue identificado en diferentes estudios sobre bádminton (Goh et al., 2013; Hensley & Paup, 1979; Jørgensen & Winge, 1990).

Desde el punto de vista del rendimiento, la Federación Internacional de Tenis (ITF) clasifica la velocidad de las pistas en rápidas, medias o lentas mediante un ensayo normativo descrito en el capítulo correspondiente al estado del arte (apartado 2.7.2.2b). En el caso del tenis este ensayo se justifica teniendo en cuenta el comportamiento diferente de la pelota tras interaccionar con la superficie de juego debido a las distintas soluciones constructivas utilizadas en las pistas sobre las que se compite en este deporte (tierra batida, césped natural y artificial, hormigón poroso y material sintético con diferentes acabados

superficiales). Además, en el caso del tenis el golpe más ejecutado es el drive (O'Donoghue & Ingram, 2001; O'Donoghue & Liddle, 2002), por lo que el ensayo realizado trata de analizar la interacción entre el pavimento y la pelota es el mismo.

En el caso del pádel, a partir de los resultados mostrados en el apartado 5.2.1, obtenidos de la observación de partidos, se identificó que la volea y el globo son los golpes realizados con mayor frecuencia (375.62 y 312.62 veces de media por partido, respectivamente).

Desde el punto de vista de la seguridad, se considera que, del mismo modo que en el tenis y el bádminton, el efecto de los diferentes golpes sobre la salud de los deportistas está relacionado con la técnica empleada durante la realización de los gestos y no con la interacción entre la pelota y el pavimento. Esta interacción se relaciona con el rendimiento de los deportistas, que aumentará en la medida en que los deportistas sean capaces de predecir el comportamiento de la pelota tras el impacto de ésta con la superficie de juego.

Dicho impacto será diferente dependiendo del golpe que el deportista realice sobre la pelota:

- En el caso de la volea, los deportistas generan un efecto o *spin* sobre la pelota que provoca una interacción diferente con el pavimento. En caso de realizar un golpe al fondo de la pista, el efecto provoca que la interacción sea de forma angular y con una velocidad elevada; si se ejecuta una dejada, el *spin* determinará que la interacción sea de forma vertical y con una velocidad reducida.
- En el caso del globo, la pelota interaccionará con el pavimento de forma vertical, en caída libre.

Con todo ello, la interacción entre la pelota y el pavimento en ambos golpes tendrá efecto sobre el rendimiento de los deportistas. El efecto sobre su salud vendrá dado, como se ha comentado, por la técnica en la realización del gesto.

5.2.3. Selección de los ensayos a realizar

Atendiendo a los resultados obtenidos del análisis cuantitativo de los movimientos de los deportistas y del análisis de su relevancia sobre el rendimiento y la salud de los deportistas presentado en el apartado anterior, se identificaron los ensayos indicados a continuación para evaluar la función deportiva del pavimento, distinguiendo entre los que analizan la interacción entre el jugador y el pavimento y los que evalúan la interacción entre la pelota y la superficie de juego.

Debe tenerse en cuenta que actualmente no se conocen las fuerzas provocadas por los deportistas durante la realización de los movimientos propios del pádel ni las velocidades a las que los realizan. Por otro lado, la metodología de ensayo utilizada para la evaluación de las propiedades de los pavimentos deportivos coincide, independientemente del deporte al que estén destinados.

5.2.3.1. Interacción jugador-pavimento

De acuerdo con lo expuesto en el apartado 4.2.2, para la evaluación de la interacción entre el jugador y el pavimento se deben efectuar los ensayos relacionados con la capacidad de amortiguación de impactos y la tracción o fricción lineal del pavimento.

La capacidad de **amortiguación de impactos** de un pavimento deportivo está estrechamente relacionada con la deformación sufrida en el momento del impacto y con la capacidad de absorción de energía del mismo.

En el caso de la **deformación**, debido al espesor reducido del material de relleno que conforma los pavimentos deportivos de césped artificial (ver apartado 2.5.3.3d), esta propiedad no supone un problema desde el punto de vista de la seguridad de los deportistas puesto que la deformación máxima que podría sufrir el pavimento no les provocaría inestabilidades. En este sentido, la norma vigente (UNE-EN 15330-1) no incluye un ensayo para la evaluación de la deformación de las superficies de césped artificial destinadas a la práctica del tenis, que presentan una composición similar a las utilizadas en pádel.

Desde el punto de vista del **retorno de energía**, se trata de una propiedad relacionada principalmente con el rendimiento de los deportistas dado que un mayor retorno de energía del pavimento implicará una menor necesidad de aporte de energía para la realización del movimiento siguiente (Baroud et al., 1999; Stefanyshyn & Nigg, 2000). Este menor aporte de energía implicará un retardo en la aparición de la fatiga y, por tanto, una menor probabilidad de sufrir lesión.

Como consecuencia, debido a la importancia que sobre la salud tiene la capacidad de amortiguación de impactos del pavimento deportivo, se considera preciso seleccionar un ensayo para la evaluación de dicha propiedad. Sin embargo, como se ha comentado, no se entiende necesaria la evaluación de la deformación vertical, teniendo en cuenta las características del pavimento. En el caso del retorno de energía, aunque se trata de una variable que aporta información fundamentalmente desde el punto de vista del rendimiento, en la actualidad no existe ningún ensayo normativo para la evaluación de este parámetro, por lo que se descarta incluirlo en la evaluación de las propiedades de los pavimentos para pádel.

Del mismo modo, en las superficies de césped artificial para tenis esta propiedad no se analiza puesto que no existe un ensayo normativo para ello.

Por otra parte, los desplazamientos laterales, frontales y hacia atrás mostrados en la tabla 5.1 se relacionan con la tracción o **fricción lineal**, que en el ámbito deportivo se define como la fuerza de resistencia provocada por la interacción entre el calzado y el pavimento durante una parada lateral o frontal o el inicio del movimiento en línea recta (Cawley et al., 2003). Teniendo en cuenta que los desplazamientos laterales y frontales son considerados importantes desde el punto de vista de la seguridad y el rendimiento de los deportistas y que su frecuencia es elevada, se consideró conveniente su evaluación.

Según lo comentado en el apartado 5.2.2.1, el giro sobre un punto de apoyo (el antepié) es uno de los movimientos realizados con menor frecuencia por los jugadores de pádel. A esto se añade que durante la **tracción rotacional**, que se produce entre el punto de apoyo y el pavimento en deportes en los que no se utiliza calzado con tacos, los momentos generados son soportados por el sistema musculoesquelético en la mayoría de los casos, no suponiendo un riesgo para la salud de los deportistas. Por tanto, se descarta la realización de un ensayo para la evaluación de esta propiedad en superficies de césped artificial para pádel.

Con todo ello, las propiedades a evaluar son la amortiguación de impactos y la fricción lineal y, según se ha señalado en el apartado 2.7.1.3, los ensayos que evalúan estas dos propiedades son los descritos a continuación:

- **Absorción de impactos:** mide la capacidad del pavimento deportivo para reducir las fuerzas de impacto que se producen en la fase de aterrizaje del jugador durante la carrera o tras un salto. Aporta información sobre la función de protección de la superficie frente a dichos impactos. Se relaciona principalmente con la seguridad de los deportistas.
- **Fricción lineal:** evalúa la interacción entre el calzado y el pavimento en un cambio de sentido, una parada lateral o un inicio de carrera del jugador sin existir rotación del pie. Se relaciona tanto con la seguridad como con el rendimiento de los deportistas.

La siguiente tabla muestra, a modo de resumen, la relación entre los movimientos de los deportistas, los aspectos de seguridad y/o rendimiento que implican, la variable utilizada para la evaluación de cada aspecto y la normativa vigente relacionada. Se ha identificado con ✓ aquellos ensayos que han sido seleccionados para la evaluación de los pavimentos de pádel y con ✗ los se ha decidido no llevar a cabo por la relevancia de la propiedad o porque no existe ensayo normativo para la evaluación de la misma (Tabla 5.3a):

Tabla 5.3a. Relación entre los movimientos de los jugadores, aspecto relacionado, variable a evaluar y ensayo normativo.

Movimientos	Aspecto Segu./ Rend.	Variable a evaluar	Ensayo normativo	
Saltos	Amortiguación	Reducción de fuerzas	UNE-EN 14808	✓
		Deformación vertical	UNE-EN 14809	x
		Retorno de energía	No existe	x
Desplazamientos	Agarre	Fricción	UNE-EN 13036-4	✓
Giros	Agarre	Tracción rotacional	UNE-EN 15301	x

5.2.3.2. Interacción pelota-pavimento

Tras la ejecución de un globo por parte de un deportista, la pelota llega en caída libre hasta impactar con el pavimento. El ensayo que analiza la interacción entre el pavimento y la pelota tras una caída vertical libre es el **bote vertical de pelota** (ver apartado 2.7.2.2b).

Por otro lado, como se ha indicado en el apartado 5.2.2.2, no existe ningún ensayo capaz de reproducir el spin generado por los deportistas previamente al **bote angulado** de la pelota con el pavimento, por lo que se descarta la realización de un ensayo para la evaluación de esta interacción.

Al igual que en el caso de los ensayos que evalúan la interacción entre el deportista y el pavimento, en la siguiente tabla se han identificado con ✓ aquellos ensayos que han sido seleccionados para la evaluación de la interacción pelota-pavimento y con x los que se ha decidido no llevar a cabo por la relevancia de la propiedad o porque no existe ensayo normativo para la evaluación de la misma (Tabla 5.3b):

Tabla 5.3b. Relación entre los golpes realizados por los jugadores, variable a evaluar y ensayo normativo.

Golpe	Variable a evaluar	Ensayo normativo	
Globo	Bote vertical de pelota	UNE-EN 12235	✓
Volea	Bote angulado de pelota con <i>spin</i>	No existe	x

5.2.3.2a. Selección de la pelota a utilizar en el ensayo del bote vertical

Como se ha comentado en el apartado 4.2.3, técnicos de la Federación Española de Pádel participaron en la identificación de las pelotas más utilizadas en la actualidad por los deportistas con el objetivo de seleccionar un modelo para la realización de los ensayos. Se seleccionaron los seis modelos de pelotas mostrados a continuación (Figura 5.2):



Figura 5.2. Modelos de pelotas de pádel evaluados.

A estos modelos se añadió el utilizado por la *International Tennis Federation* (ITF) para la evaluación de pistas, fabricado expresamente para la realización de ensayos, que presenta un comportamiento altamente repetible.

Sobre los siete modelos de pelotas se realizó el ensayo de bote vertical sobre un suelo rígido de acuerdo al documento técnico vigente (UNE-EN 12235), por lo que los resultados se muestran en metros (m) y no en porcentaje (%), como se realiza al evaluar superficies deportivas por referenciarse al bote medido sobre superficie rígida (ver apartado 4.3.1.2a).

El siguiente gráfico muestra los resultados obtenidos para los diferentes modelos de pelotas (Figura 5.3).

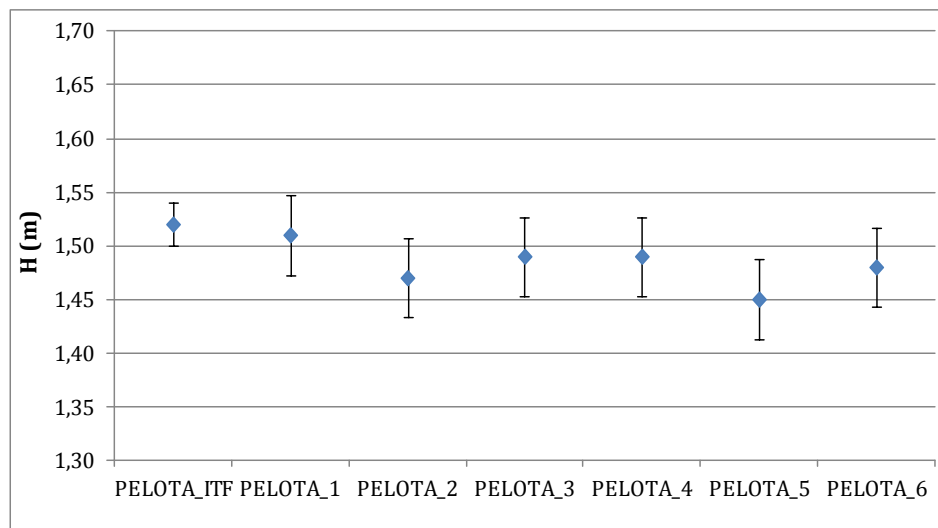


Figura 5.3. Resultados de la evaluación del bote vertical de los diferentes modelos de pelota identificados.

Con los resultados obtenidos se llevó a cabo un análisis de la varianza (ANOVA) para identificar si existían diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los diferentes modelos de pelotas evaluados (Tabla 5.4):

Tabla 5.4. Análisis de la varianza del bote vertical de las pelotas.

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: H (m)

Origen	Media cuadrática	F	Sig.	Eta al cuadrado parcial	Potencia observada
Modelo corregido	0.003 ^a	1.70	0.157	0.267	1.00
Intersección	77.406	47322.31	0.000	0.999	1.00
Pelota	0.003	1.70	0.157	0.267	1.00
Error	0.002	1.70			

a. R cuadrado = 0.267 (R cuadrado corregida = 0.110)

El análisis de la varianza muestra que no existen diferencias significativas entre el bote vertical de los diferentes modelos de pelotas evaluados ($p < 0.05$). Además, la potencia observada indica que continuarían sin presentar diferencias estadísticamente significativas aunque se aumentara el número de repeticiones en el ensayo ya que la no presencia de estas diferencias es debida al

comportamiento de la pelota y no a la falta de repeticiones del ensayo. Por tanto, se decidió elegir las pelotas utilizadas por la ITF para la evaluación de las pistas de pádel ya que su comportamiento repetible ha sido validado por dicha federación mientras que el resto de pelotas son comerciales y no han sido sometidas a esta evaluación de homogeneidad del comportamiento. Además, los ensayos realizados permitieron comprobar que existía una menor dispersión de los resultados en este modelo de pelota que puede ser adquirido a través de la ITF.

A partir del valor medio del bote evaluado en suelo rígido de la PELOTA_ITF, se calculó el porcentaje de bote vertical de la pelota en las pistas de pádel de acuerdo a lo que se ha descrito en el apartado 4.2.2.2c.

5.3. Fase 2. Identificación de los valores de referencia

Los resultados obtenidos del estudio de campo permitieron:

- Analizar las propiedades de las pistas de pádel evaluadas mediante los ensayos identificados en el apartado anterior.
- Conocer cómo perciben los deportistas las pistas con respecto a cada una de las propiedades analizadas desde el punto de vista mecánico, así como sus preferencias.
- Identificar los valores de referencia que los deportistas perciben como adecuados para la práctica del pádel.

5.3.1. Análisis de las propiedades de las pistas de pádel

De acuerdo con lo indicado en el apartado 4.3.1.1, se han evaluado tres instalaciones deportivas identificadas como A, B y C. En cada una de ellas se testaron cuatro, cinco y dos pistas respectivamente, por lo que el código utilizado para distinguir las pistas ha sido la letra asignada a la instalación y el número correspondiente a la pista.

La temperatura fue controlada en todos los casos con el objetivo de comprobar que se encontraba dentro del rango especificado por la norma que regula los diferentes ensayos (entre +5 y +35°C).

Las propiedades evaluadas sobre las pistas de pádel objeto de estudio han sido la absorción de impactos o reducción de fuerzas (RF), la fricción y el bote vertical de pelota. De cada una se realizó, en primer lugar, un análisis de estadísticos descriptivos y posteriormente un análisis de la varianza (ANOVA) con

el objetivo de identificar si existían diferencias significativas entre ellas. Por último, se efectuó un análisis post-hoc Tukey-b para comprobar entre qué pistas existían diferencias significativas relativas a las propiedades evaluadas.

5.3.1.1. Absorción de impactos (RF (%))

Los estadísticos descriptivos de la variable reducción de fuerzas obtenidos para cada una de las pistas son los mostrados en la siguiente tabla (Tabla 5.5). Puede observarse que, en todos los casos, el coeficiente de variación (COV) fue menor del 30%, por lo que se considera que el protocolo definido para la evaluación de la reducción de fuerzas en cuatro puntos dentro de cada pista es adecuado.

Además, el análisis de la varianza univariante (ANOVA) realizado sobre las medidas realizadas dentro de cada pista mostró que no existían diferencias significativas ($p < 0.05$) entre la reducción de fuerzas medida en las diferentes zonas de cada una de las pistas.

Tabla 5.5. Estadísticos descriptivos de la variable reducción de fuerzas (RF (%)).

Código pista	Media	Desviación típica	COV (%)	N
A_1	9.50	0.577	6.07	4
A_2	9.00	0.000	0.00	4
A_3	9.25	0.957	10.35	4
A_4	10.00	0.000	0.00	4
B_1	15.00	0.816	5.44	4
B_2	15.00	1.414	9.43	4
B_3	14.00	0.816	5.83	4
B_4	15.50	1.291	8.33	4
B_5	15.25	0.957	6.28	4
C_1	21.25	0.957	4.50	4
C_2	21.00	1.826	8.70	4

La siguiente figura muestra de forma gráfica los valores medios y el intervalo de confianza de la variable reducción de fuerzas para cada una de las pistas (Figura 5.4):

5. Resultados

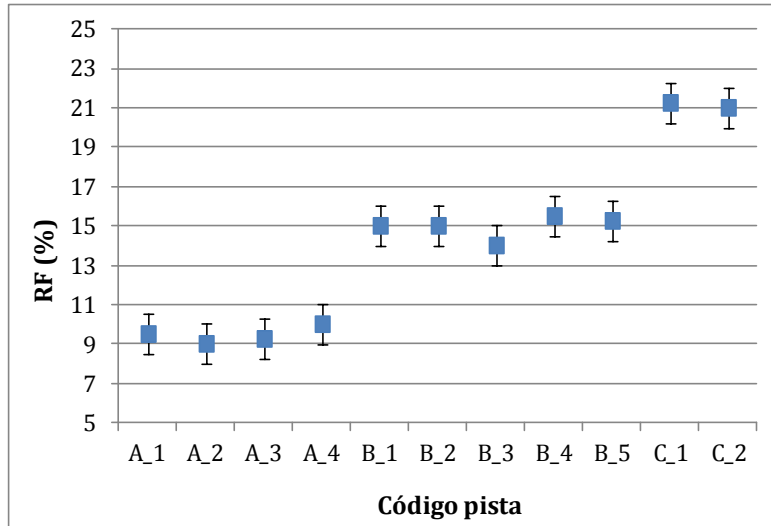


Figura 5.4. Valores medios e intervalos de confianza de la variable reducción de fuerzas por pista.

Tras realizar el análisis de la varianza entre pistas se observó que existían diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) (Tabla 5.6).

Tabla 5.6. Resultados del análisis de la varianza entre pistas de la variable reducción de fuerzas (RF (%)).

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	Sig.	Eta al cuadrado parcial	Potencia observada ^b
Modelo corregido	764.5 ^a	10	76.45	0.00	0.957	1.00
Intersección	8708.2	1	8708.20	0.00	0.996	1.00
Codigo_pista	764.5	10	76.45	0.00	0.957	1.00
Error	34.2	33	1.03			
Total	9507.0	44				
Total corregida	798.7	43				

a. R cuadrado = 0.957 (R cuadrado corregida = 0.944)

b. Calculado con alfa = 0.05

Posteriormente se comprobó entre qué pistas existían diferencias significativas mediante un análisis post-hoc Tukey-b (Tabla 5.7):

Tabla 5.7. Análisis post-hoc Tukey-b de la variable reducción de fuerzas (RF (%)).

Código pista	N	Subconjunto		
		1	2	3
A_2	4	9.00		
A_3	4	9.25		
A_1	4	9.50		
A_4	4	10.00		
B_3	4		14.00	
B_1	4		15.00	
B_2	4		15.00	
B_5	4		15.25	
B_4	4		15.50	
C_2	4			21.00
C_1	4			21.25

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.

Basadas en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 1.038.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4.000.

b. Alfa = 0.05.

Este análisis mostró una agrupación por instalación de las pistas, indicando que las pistas de las diferentes instalaciones presentaban diferencias estadísticamente significativa entre ellas ($p < 0.05$), siendo la instalación C la que contaba con pistas con una mayor capacidad de amortiguación de impactos y las pistas de la instalación A las que presentaban menor capacidad de reducción de las fuerzas de impacto.

Por tanto, como se pretendía durante el proceso de selección de la muestra, el estudio cuenta con pistas con comportamientos significativamente diferentes ($p < 0.05$) desde el punto de vista de la capacidad de amortiguación de impactos.

5.3.1.2. Fricción

Idéntico análisis al realizado sobre la variable reducción de fuerzas se efectuó sobre la fricción medida en las diferentes pistas evaluadas. Los resultados del análisis descriptivo son los mostrados en la tabla 5.8. En todos los casos, el coeficiente de variación fue menor del 30%, por lo que se consideró que el protocolo definido para la evaluación de la reducción de fuerzas en cuatro puntos dentro de cada pista era adecuado. Desde el punto de vista de las diferencias entre zonas, el análisis de la varianza (ANOVA) realizado mostró que en nin-

guna pista existían diferencias significativas entre los cuatro puntos evaluados.

Tabla 5.8. Estadísticos descriptivos de la variable Fricción por pista.

Código pista	Media	Desviación típica	COV (%)	N
A_1	72.50	6.45	8.90	4
A_2	73.75	6.29	8.53	4
A_3	67.50	2.88	4.28	4
A_4	66.25	2.50	3.77	4
B_1	96.25	6.29	6.54	4
B_2	96.25	7.50	7.79	4
B_3	97.50	2.88	2.96	4
B_4	95.00	4.08	4.30	4
B_5	95.00	4.08	4.30	4
C_1	70.00	4.08	5.83	4
C_2	68.75	4.78	6.96	4

El siguiente gráfico (Figura 5.5) presenta los valores medios e intervalos de confianza de la variable fricción obtenidos en cada una de las pistas.

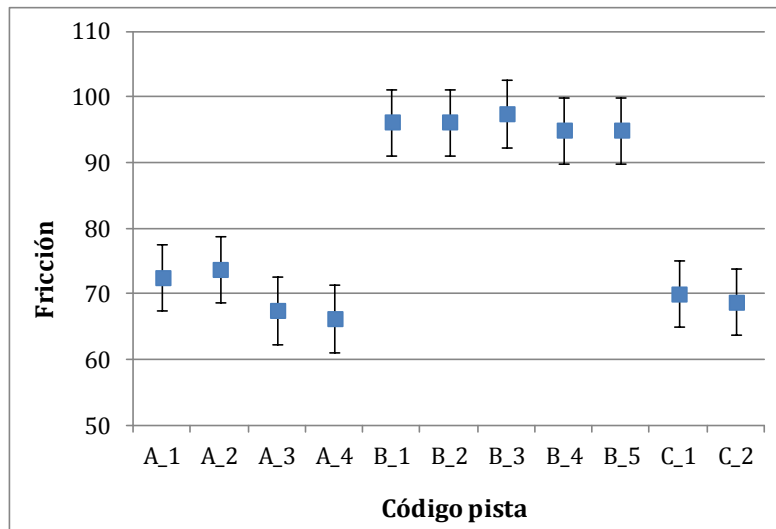


Figura 5.5. Valores medios de la variable fricción por pista.

El análisis de la varianza entre pistas señaló que existían diferencias significativas ($p < 0.05$) (Tabla 5.9):

Tabla 5.9. Resultados del análisis de la varianza entre pistas de la variable Fricción.

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	Sig.	Eta al cuadrado parcial	Potencia observada ^b
Modelo corregido	7678.4 ^a	10	767.8	0.00	0.904	1.000
Intersección	293727.8	1	293727.8	0.00	0.997	1.000
Código pista	7678.4	10	767.8	0.00	0.904	1.000
Error	818.7	33	24.8			
Total	302225.0	44				
Total corregida	8497.1	43				

a. R cuadrado = 0.904 (R cuadrado corregida = 0.874)

b. Calculado con alfa = 0.05

A continuación se muestran los resultados del análisis post hoc Tukey-b (Tabla 5.10):

Tabla 5.10. Análisis post-hoc Tukey-b de la variable Fricción.

Código pista	N	Subconjunto	
		1	2
A_4	4	66.25	
A_3	4	67.50	
C_2	4	68.75	
C_1	4	70.00	
A_1	4	72.50	
A_2	4	73.75	
B_4	4		95.00
B_5	4		95.00
B_1	4		96.25
B_2	4		96.25
B_3	4		97.50

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos. Basadas en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 24.811.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4.000.

b. Alfa = 0.05.

Los resultados mostrados en la tabla anterior (Tabla 5.10) indican que en el caso de la fricción no existía una agrupación de las pistas por instalación sino que el comportamiento de las pistas de la instalación B era significativamente diferente ($p < 0.05$) al de las pistas de las instalaciones A y C; sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en la fricción medida en las pistas correspondientes a estas últimas instalaciones.

Como se pretendía en la selección de la muestra, el estudio contó con pistas que presentaban diferencias significativas desde el punto de vista de la fricción. Sin embargo, esta diferenciación fue únicamente en dos grupos, lo que a posteriori complicó la identificación de los valores de referencia de esta propiedad (ver apartado 5.3.3.2).

5.3.1.3. Bote vertical de pelota (H (%))

Al igual que en el caso de las dos variables anteriores, sobre los resultados del bote vertical de la pelota se realizó en primer lugar un análisis de estadísticos descriptivos, obteniéndose los resultados mostrados a continuación. En este caso el bote se expresó en porcentaje, dado que se refería al bote vertical de la pelota seleccionada sobre superficie rígida:

Tabla 5.11. Estadísticos descriptivos de la variable bote vertical de pelota por pista (H (%)).

Código pista	Media	Desviación típica	COV (%)	N
A_1	97.00	0.81	0.84	4
A_2	95.75	1.70	1.78	4
A_3	95.00	1.82	1.92	4
A_4	94.25	1.25	1.33	4
B_1	95.00	1.63	1.72	4
B_2	96.00	0.81	0.85	4
B_3	96.00	1.82	1.90	4
B_4	97.75	0.95	0.98	4
B_5	97.75	1.50	1.53	4
C_1	92.75	1.71	1.84	4
C_2	91.75	2.06	2.25	4

En todos los casos, el coeficiente de variación fue menor del 30%, por lo que se consideró que el protocolo definido para la evaluación del bote vertical de pelota en cuatro puntos dentro de cada pista era adecuado.

Desde el punto de vista de las diferencias entre zonas, el análisis de la varianza (ANOVA) realizado mostró que en ninguna pista existían diferencias significativas entre los cuatro puntos evaluados. La siguiente figura muestra la representación gráfica de los estadísticos descriptivos (Figura 5.6):

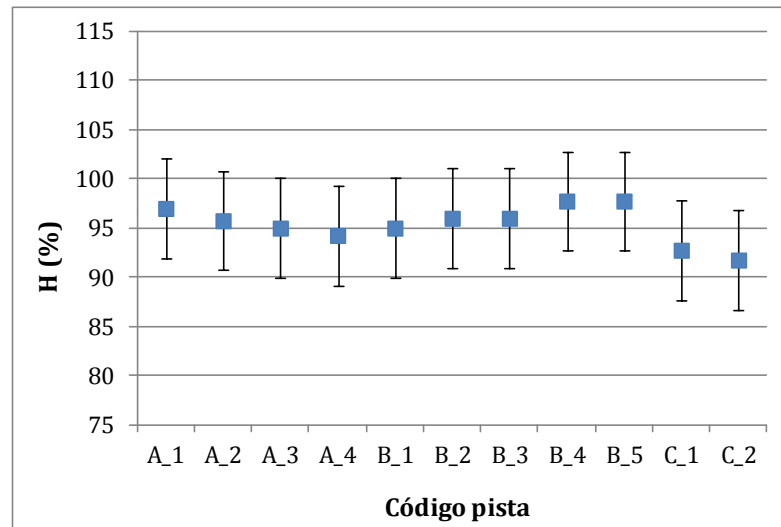


Figura 5.6. Valores medios e intervalos de confianza del bote de pelota por pista.

De los resultados del análisis de la varianza (ANOVA) se desprende que existían diferencias significativas entre pistas (Tabla 5.12):

Tabla 5.12. Resultados del análisis de la varianza de la variable bote vertical de pelota (H (%)).

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	Sig.	Eta al cuadrado parcial	Potencia observada ^b
Modelo corregido	154.4 ^a	10	15.44	0.00	0.669	1.00
Intersección	400909.0	1	400909.09	0.00	1.000	1.00
Código pista	154.4	10	15.44	0.00	0.669	1.00
Error	76.5	33	2.31			
Total	401140.0	44				

a. R cuadrado = 0.669 (R cuadrado corregida = 0.568)

b. Calculado con alfa = 0.05

De los resultados del análisis post-hoc Turkey-b se dedujo que no existía una agrupación de pistas por instalación como la observada en la variable reducción de fuerzas (Tabla 5.13):

Tabla 5.13. Análisis post-hoc Tukey-b de la variable bote vertical de pelota (H (%)).

Código pista	N	Subconjunto		
		1	2	3
C_2	4	91.75		
C_1	4	92.75	92.75	
A_4	4	94.25	94.25	94.25
A_3	4	95.00	95.00	95.00
B_1	4	95.00	95.00	95.00
A_2	4		95.75	95.75
B_3	4		96.00	96.00
B_2	4		96.00	96.00
A_1	4			97.00
B_4	4			97.75
B_5	4			97.75

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.

Basadas en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 2.318.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4.000.

b. Alfa = 0.05.

Se observaron diferencias estadísticamente significativas de la pista C_2 con respecto a las pistas A_2, B_3, B_2, A_1, B_4 y B_5 (que presentaban un bote vertical de pelota menor) y de la pista C_1 con respecto a las pistas A_1, B_4 y B_5, siendo el bote de pelota de la pista C_1 mayor que el registrado en las últimas pistas citadas. Sin embargo, se detectó que la diferencia entre el máximo y el mínimo bote de pelota era reducida, lo que supuso un inconveniente en la identificación de los valores de referencia (ver apartado 5.3.3.3).

5.3.2. Análisis de la percepción de los deportistas

A partir de los resultados de las encuestas realizadas sobre los deportistas se desarrolló el análisis de su percepción. El tratamiento de resultados realizado fue el siguiente:

- Estadísticos descriptivos y análisis de frecuencias de los datos relativos a la caracterización de los deportistas que participaron en el estudio.

- Estadísticos descriptivos de los resultados de percepción y preferencia de cada una de las propiedades mecánicas sobre las que fueron entrevistados (dureza, resbaladidad y bote de pelota).
- Análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis para identificar si existían diferencias significativas entre las propiedades percibidas en diferentes pistas.

5.3.2.1. Caracterización de los deportistas

Dado que previamente a la realización de la encuesta no se comprobaban las características de cada deportista, participaron en el estudio un total de 190 deportistas con el objetivo de garantizar que, si se descartaban deportistas por no cumplir con los requisitos marcados, se alcanzaría el número de casos necesarios. Finalmente, 176 de los deportistas que cumplimentaron la encuesta cumplieron con los requisitos indicados. Las tablas 5.14 a 5.18 presentan las características de los deportistas incluidos en el estudio:

Tabla 5.14. Estadísticos descriptivos de la edad de los deportistas.

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
Edad	176	18.00	55.00	34.67	10.80
N válido	176				

Tabla 5.15. Distribución por sexos de los deportistas.

		Frecuencia	Porcentaje
Válidos	Hombre	105	59.6
	Mujer	71	40.4
	Total	176	100.0

Tabla 5.16. Distribución por instalación habitual de práctica del pádel.

¿Juega habitualmente en esta instalación?

		Frecuencia	Porcentaje
Válidos	No	0	0.0
	Sí	176	100.0
	Total	176	100.0

Tabla 5.17. Distribución por frecuencia de juego.

Horas de práctica a la semana		Frecuencia	Porcentaje
Válidos	>1 & <3	39	22.2
	>3 & ≤5	76	43.2
	>5	61	34.6
	Total	176	100.0

Tabla 5.18. Distribución por experiencia.

Experiencia (años)		Frecuencia	Porcentaje
Válidos	>1 & <3	46	26.1
	>3 & <5	62	35.2
	>5	68	38.7
	Total	176	100.0

El 59.6% de los deportistas incluidos en el estudio eran hombres y el 40.4% mujeres. El mayor porcentaje de jugadores (43.2%) practicaba pádel entre 3 y 5 horas a la semana, mientras que un 34.6% lo practicaba más de cinco horas a la semana y un 22.2% entre 1 y 3 hora a la semana. En cuanto a la experiencia en la práctica de este deporte, el 35.2% lo practicaba entre 3 y 5 años y un 38.7% más de 5 años. Solamente un 26.1% de los deportistas que cumplieron los requisitos para participar en el estudio llevaban practicando pádel entre 1 y 3 años.

5.3.2.2. Percepción de la dureza

A continuación se muestran los estadísticos descriptivos de la valoración de la dureza de la superficie de juego de las diferentes pistas realizada por los deportistas (Tabla 5.19):

Tabla 5.19. Estadísticos descriptivos de la variable dureza.

Código pista	Media	Desviación típica	Moda	N
A_1	3.87	0.61	4	16
A_2	4.26	0.45	4	16
A_3	4.18	0.40	4	16
A_4	4.12	0.50	4	16
B_1	3.50	0.47	3/4	8
B_2	3.87	0.35	4	8
B_3	3.58	0.51	4	12
B_4	3.50	0.52	3/4	12
B_5	3.41	0.66	4	12
C_1	2.56	0.50	3	30
C_2	2.73	0.44	3	30
Total	3.44	0.80		176

Sobre las pistas B_1 y B_2 se logró un menor número de respuestas por parte de los usuarios dado que en las fechas de realización de las encuestas se rompió un panel de vidrio de la pista B_1 y los gestores de la instalación decidieron clausurar tanto la pista B_1 como la B_2 hasta su reparación y la sustitución del césped de la pista B_1. El retraso en abrir de nuevo la pista B_2 y la sustitución del césped en la pista B_1 provocaron que se contara con muy pocos deportistas entrevistados para registrar su percepción de las propiedades de las pistas. No obstante, se decidió incluir los resultados puesto que estos presentaron una desviación típica del mismo orden o menor que los de pistas en las que se contó con mayor número de deportistas entrevistados.

A continuación se muestran de forma gráfica los valores medios de la dureza percibida por los deportistas y los intervalos de confianza para cada una de las pistas (Figura 5.7):

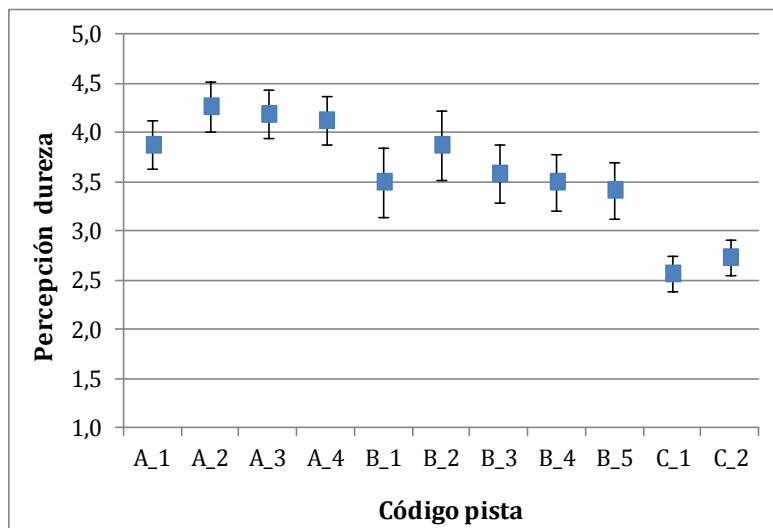


Figura 5.7. Valores medios e intervalos de confianza de la variable dureza (1: muy blanda; 2: blanda; 3: ni dura ni blanda; 4: dura; 5: muy dura).

Se observa que la mayoría de las pistas fueron valoradas como duras, siendo las pistas correspondientes a la instalación C las únicas que fueron valoradas como blandas por algunos deportistas. Ninguna pista fue valorada como muy blanda.

Los resultados obtenidos del análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis mostraron diferencias significativas entre pistas ($p < 0.05$) (Tabla 5.20):

Tabla 5.20. Análisis de varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis (percepción dureza).

Rangos			
	Código pista	N	Rango promedio
Dureza	A_1	16	110.75
	A_2	16	133.97
	A_3	16	130.56
	A_4	16	126.28
	B_1	8	88.25
	B_2	8	113.94
	B_3	12	93.96
	B_4	12	88.25
	B_5	12	84.71
	C_1	30	35.58
	C_2	30	42.67
	Total	176	

Estadísticos de contraste^{a,b}	
	Dureza
Chi-cuadrado	113.824
gl	10
Sig. asintót.	0.000

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Código pista

Los deportistas identificaron la pista A_2 como la más dura y la C_1 como la más blanda.

5.3.2.3. Percepción de la fricción

A continuación se muestran los estadísticos descriptivos de la percepción de la fricción por parte de los deportistas en las diferentes pistas analizadas (Tabla 5.21.). Al igual que en el caso del análisis de percepción de la dureza, se decidió incluir en el estudio los resultados de las pistas B_1 y B_2:

Tabla 5.21. Estadísticos descriptivos de la fricción percibida.

Código pista	Media	Desviación típica	Moda	N
A_1	1.31	0.47	1	16
A_2	1.43	0.51	1	16
A_3	1.25	0.44	1	16
A_4	1.18	0.40	1	16
B_1	2.75	0.50	3	8
B_2	2.37	0.51	2	8
B_3	2.41	0.51	2	12
B_4	2.41	0.51	2	12
B_5	2.50	0.52	2/3	12
C_1	1.73	0.45	2	30
C_2	1.30	0.46	1	30
Total	1.69	0.68		176

La figura 5.8 muestra gráficamente los valores obtenidos y los intervalos de confianza:

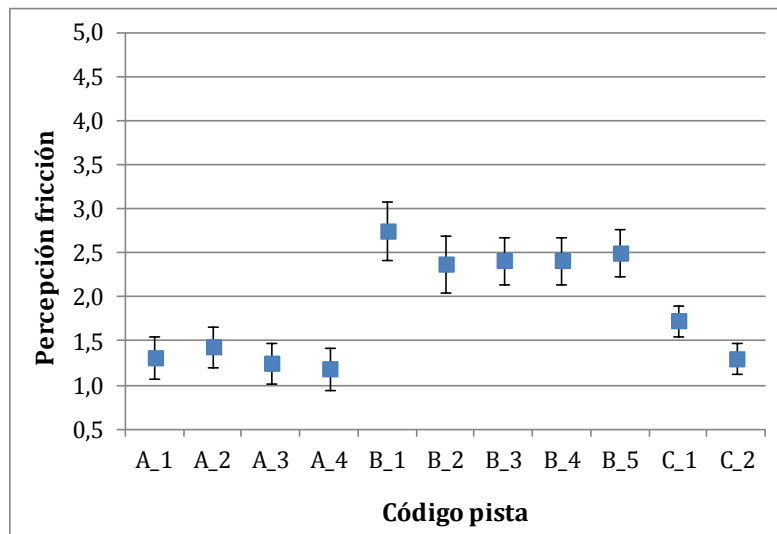


Figura 5.8. Valores medios e intervalos de confianza de la fricción percibida (1: resbala mucho; 2: resbala un poco; 3: la resbaladidad es adecuada; 4: frena un poco; 5: frena mucho).

La mayoría de las pistas fueron percibidas como resbaladizas, siendo las correspondientes a la instalación B las que presentaron una valoración más pró-

xima a un agarre adecuado. Sin embargo, ninguna pista recibió valoraciones relacionadas con un agarre excesivo.

Los resultados del análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis mostraron diferencias significativas entre pistas ($p < 0.05$) (Tabla 5.22):

Tabla 5.22. Análisis de varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis (percepción fricción).

Rangos			
Código pista	N	Rango promedio	
Fricción	A_1	16	60.94
	A_2	16	70.31
	A_3	16	56.25
	A_4	16	51.56
	B_1	8	149.25
	B_2	8	130.88
	B_3	12	132.92
	B_4	12	132.92
	B_5	12	137.00
	C_1	30	92.50
	C_2	30	60.00
	Total	176	

Estadísticos de contraste^{a,b}

	Fricción
Chi-cuadrado	89.562
gl	10
Sig. asintót.	0.000

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Código pista

Los deportistas indicaron que la superficie de la pista B_1 era la que percibían que resbalaba menos, mientras que la correspondiente a la pista A_4 fue percibida como la más resbaladiza.

5.3.2.4. Percepción del bote vertical de pelota

Los estadísticos descriptivos de la percepción del bote vertical de pelota mostraron los siguientes resultados (Tabla 5.23). Del mismo modo que en el caso de la percepción de dureza y de resbaladidad, en la percepción del bote de pelota se consideró oportuno incluir en el estudio los resultados de las pistas

B_1 y B_2 dado que su desviación típica era del mismo orden que la del resto de los casos pese a contar con encuestas respondidas por menos deportistas:

Tabla 5.23. Estadísticos descriptivos del bote de pelota percibido.

Código pista	Media	Desviación típica	Moda	N
A_1	3.20	0.41	3	16
A_2	3.18	0.54	3	16
A_3	2.31	0.48	2	16
A_4	3.31	0.48	3	16
B_1	3.50	0.47	3/4	8
B_2	3.37	0.35	4	8
B_3	3.58	0.51	4	12
B_4	4.08	0.99	5	12
B_5	4.00	0.85	3/4	12
C_1	2.23	0.43	2	30
C_2	2.50	0.51	2/3	30
Total	3.02	0.85		176

La representación gráfica de estos resultados queda tal y como se muestra en la siguiente figura (Figura 5.9):

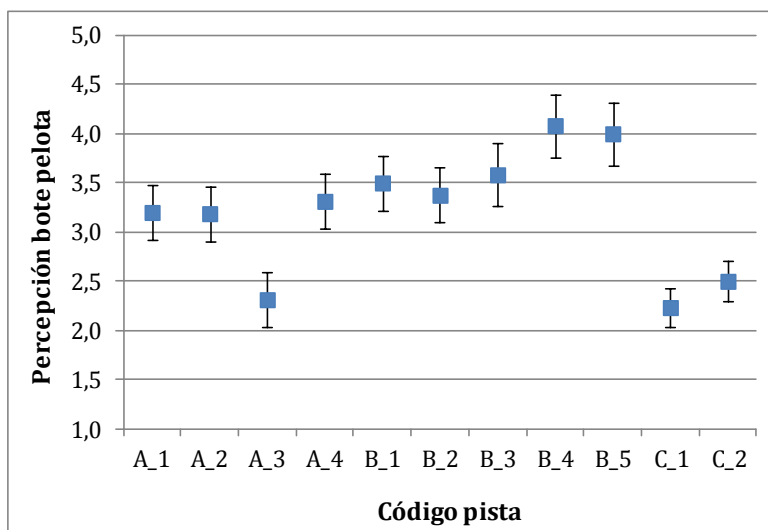


Figura 5.9. Valores medios e intervalos de confianza del bote de pelota percibido (1: bota muy poco; 2: bota poco; 3: bota correctamente; 4: bota alto; 5: bota muy alto).

Los deportistas percibían que en todas las pistas la pelota botaba correctamente, alto o muy alto. Sin embargo, no se registraron valoraciones relacionadas con un bote deficiente de la pelota.

Los resultados obtenidos del análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis mostraron diferencias significativas entre pistas ($p < 0.05$):

Tabla 5.24. Análisis de varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis (percepción bote pelota).

Rangos			
	Código pista	N	Rango promedio
Rebote	A_1	16	100.60
	A_2	16	99.38
	A_3	16	45.50
	A_4	16	106.84
	B_1	8	117.25
	B_2	8	138.06
	B_3	12	121.88
	B_4	12	132.63
	B_5	12	133.67
	C_1	30	40.43
	C_2	30	57.50
	Total	176	

Estadísticos de contraste^{a,b}

	Bote pelota
Chi-cuadrado	102.988
gl	10
Sig. asintót.	0.000

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Código pista

Los deportistas indicaron que la pista en la que la pelota botaba más era la B_4, mientras que en la pista C_1 se percibió el menor bote de pelota.

5.3.2.5. Preferencia de la dureza

Los estadísticos descriptivos relativos a la valoración de la preferencia de dureza realizada por los deportistas se presentan en la Tabla 5.25 y se muestran de forma gráfica en la Figura 5.10:

Tabla 5.25. Estadísticos de la preferencia de dureza.

Código pista	Media	Desviación típica	Moda	N
A_1	3.00	0.00	3	16
A_2	3.00	0.00	3	16
A_3	3.00	0.00	3	16
A_4	3.00	0.00	3	16
B_1	2.50	0.47	2/3	8
B_2	2.62	0.52	3	8
B_3	3.00	0.00	3	12
B_4	2.41	0.51	2	12
B_5	2.33	0.49	2	12
C_1	1.13	0.34	1	30
C_2	1.43	0.57	2	30
Total	2.28	0.85		176

La siguiente figura muestra de forma gráfica los valores medios y el intervalo de confianza obtenidos para la variable preferencia dureza (Figura 5.10):

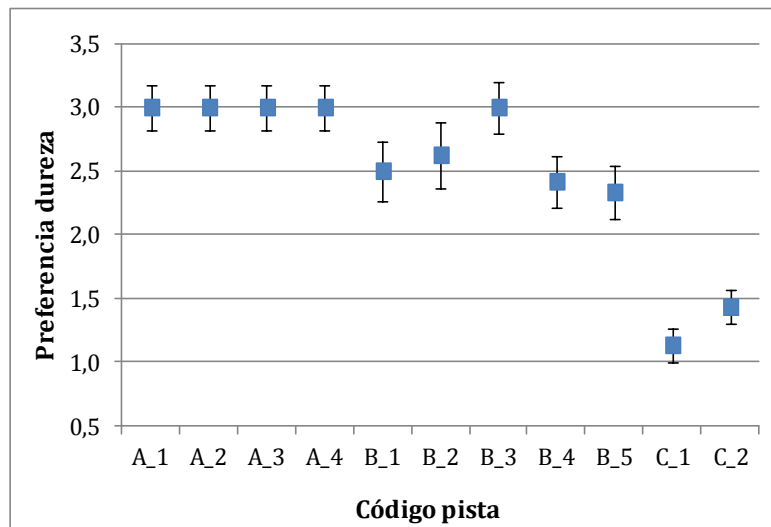


Figura 5.10. Valores medios e intervalos de confianza de la preferencia de dureza expresada (1: preferiría que las pista fuera más dura; 2: la dureza de la pista es perfecta; 3: preferiría que la pista fuera más blanda).

Todos los deportistas encuestados en las pistas A_1, A_2, A_3 y A_4 indicaron que preferirían que fueran más blandas. En las pistas B1, B_2, B_3 y B_4 hubo deportistas que indicaron que la dureza les parecía perfecta, mientras que para otros eran demasiado duras. En lo que atañe a las pistas C_1 y C_2, los deportistas indicaron que preferían que fueran más duras, aunque en algunos casos señalaron que la dureza era adecuada.

Los resultados del análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis mostraron la existencia de diferencias significativas entre las preferencias de los deportistas en distintas pistas (Tabla 5.26):

Tabla 5.26. Análisis de varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis (preferencia dureza).

Rangos			
	Código pista	N	Rango promedio
Preferencia dureza	A_1	16	126.00
	A_2	16	126.00
	A_3	16	126.00
	A_4	16	126.00
	B_1	8	94.00
	B_2	8	102.00
	B_3	12	126.00
	B_4	12	88.67
	B_5	12	83.33
	C_1	30	27.77
	C_2	30	40.43
	Total	176	

Estadísticos de contraste^{a,b}

	Preferencia dureza
Chi-cuadrado	142.224
gl	10
Sig. asintót.	0.000

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Código pista

5.3.2.6. Preferencia de la fricción

Los estadísticos descriptivos correspondientes a la preferencia de fricción expresada por los deportistas se muestran a continuación (Tabla 5.27):

Tabla 5.27. Estadísticos descriptivos preferencia fricción.

Código pista	Media	Desviación típica	Moda	N
A_1	3.00	0.00	3	16
A_2	3.00	0.00	3	16
A_3	3.00	0.00	3	16
A_4	3.00	0.00	3	16
B_1	2.25	0.50	2	8
B_2	2.50	0.53	2/3	8
B_3	2.33	0.49	2	12
B_4	2.42	0.51	2	12
B_5	2.50	0.52	2/3	12
C_1	3.00	0.00	3	30
C_2	2.97	0.18	3	30
Total	2.83	0.37		176

La siguiente figura muestra de forma gráfica los valores medios y el intervalo de confianza obtenidos para la variable preferencia fricción (Figura 5.11):

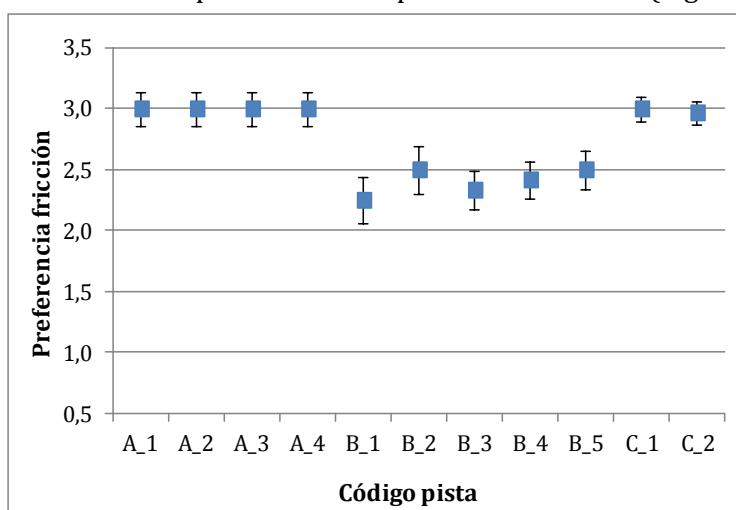


Figura 5.11. Valores medios e intervalos de confianza de la preferencia de fricción expresada (1: preferiría que la pista resbalara más; 2: la resbaladidad de la pista es perfecta; 3: preferiría que la pista resbalara menos).

Todos los deportistas que participaron en el estudio indicaron que preferirían que la pista sobre la que se les encuestaba resbalara menos o que la resbaladidad de la pista era adecuada. En las pistas A_1, A_2, A_3, A_4 y C_1 hubo una-

nimidad en la respuesta: todos preferían que la pista resbalara menos (y en la pista C_2 prácticamente también se observó unanimidad). La valoración de las pistas B_1, B_2, B_3 y B_4 indicaron que, según la opinión de los deportistas, su resbaladidad estaba cercana a lo que ellos percibían como adecuado.

Los resultados del análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis mostraron diferencias significativas entre la preferencia de fricción de los deportistas en las distintas pistas (Tabla 5.28):

Tabla 5.28. Análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis (preferencia fricción).

Rangos			
	Código pista	N	Rango promedio
Preferencia fricción	A_1	16	101.00
	A_2	16	101.00
	A_3	16	101.00
	A_4	16	101.00
	B_1	8	36.50
	B_2	8	58.00
	B_3	12	43.67
	B_4	12	50.83
	B_5	12	58.00
	C_1	30	101.00
	C_2	30	98.13
	Total	176	

Estadísticos de contraste^{a,b}	
	Preferencia fricción
Chi-cuadrado	83.764
gl	10
Sig. asintót.	0.000

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Código pista

5.3.2.7. Preferencia del bote de pelota

La siguiente tabla muestra los estadísticos descriptivos obtenidos de la evaluación de la preferencia de los deportistas con respecto al bote de pelota (Tabla 5.29), que se presentan en la figura 5.12:

Tabla 5.29. Estadísticos descriptivos de la preferencia del bote de pelota.

Código pista	Media	Desviación típica	Moda	N
A_1	1.68	0.47	2	16
A_2	2.00	0.63	2	16
A_3	1.62	0.95	1	16
A_4	1.93	0.44	2	16
B_1	2.50	0.57	2/3	8
B_2	2.87	0.35	3	8
B_3	2.66	0.49	3	12
B_4	2.50	0.52	2/3	12
B_5	2.58	0.51	3	12
C_1	1.23	0.43	1	30
C_2	1.43	0.50	1	30
Total	1.87	0.75		176

La siguiente figura muestra de forma gráfica los valores medios y los intervalos de confianza obtenidos para la variable preferencia bote pelota (Figura 5.12):

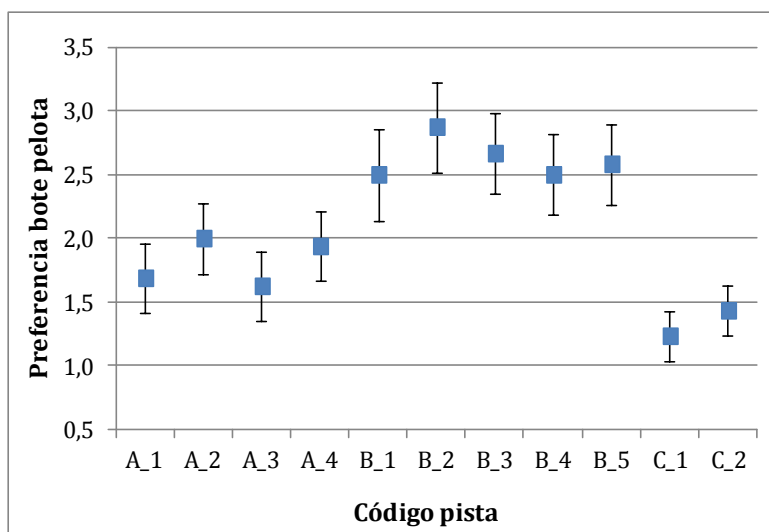


Figura 5.12. Valores medios e intervalos de confianza de la preferencia de bote vertical de pelota (1: preferiría que la pelota botara más; 2: el bote de la pelota es perfecto; 3: preferiría que la pelota botara menos).

Los resultados medios señalan que los deportistas encuestados en las pistas C_1 y C_2 preferían que la pelota botara más, mientras que en las pistas B_1, B_2, B_3, B_4 y B_5 preferían que botara menos. El bote percibido como más próximo al adecuado fue el valorado por los deportistas encuestados en las pistas A_1, A_2, A_3 y A_4.

A continuación se muestran los resultados del análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis (Tabla 5.30):

Tabla 5.30. Análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis (preferencia bote pelota).

Rangos			
	Código pista	N	Rango promedio
Preferencia bote vertical pelota	A_1	16	76.72
	A_2	16	95.44
	A_3	16	69.13
	A_4	16	92.66
	B_1	8	125.25
	B_2	8	146.06
	B_3	12	134.50
	B_4	12	125.25
	B_5	12	129.88
	C_1	30	46.52
	C_2	30	59.82
	Total	176	

Estadísticos de contraste^{a,b}	
	Preferencia bote pelota
Chi-cuadrado	83.489
gl	10
Sig. asintót.	0.000

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Código pista

La preferencia expresada por los deportistas en relación con el bote de la pelota presentó diferencias significativas entre pistas de acuerdo a los resultados del análisis de la varianza no paramétrico.

5.3.3. Identificación de los valores de referencia

Para identificar los valores de referencia de las diferentes propiedades evaluadas se efectuaron los siguientes tratamientos estadísticos:

- Análisis de correlación (Pearson) entre las propiedades medidas y la percepción de los deportistas (basada en los rangos promedios de Kruskal-Wallis).
- Análisis de correlación (Pearson) entre las propiedades medidas y la preferencia de los deportistas (basada en los rangos promedios de Kruskal-Wallis).
- Análisis de correlación (Rho de Spearman) entre los valores medios de la percepción y la preferencia de los deportistas.
- Tablas de contingencia entre las propiedades medidas y la preferencia de los deportistas, analizando la frecuencia con la que los deportistas valoraban como adecuados, excesivos o deficientes los valores obtenidos de cada una de las propiedades.

Finalmente se identificaron los rangos en que deben encontrarse las diferentes propiedades teniendo en cuenta la percepción sobre cada una de las propiedades analizadas y la preferencia con respecto a cada una de ellas de los deportistas entrevistados.

5.3.3.1. Absorción de impactos (RF (%))

Las siguiente tabla muestra los resultados del análisis de correlaciones bivariadas entre la reducción de fuerzas (RF (%)) medida y los rangos de Kruskal-Wallis calculados a partir de la opinión de los deportistas con respecto a la dureza percibida (Tabla 5.31).

Tabla 5.31. Correlaciones bivariadas entre la reducción de fuerzas medida y la dureza percibida por los deportistas (rango Kruskal-Wallis).

		RF (%)	Rango K-W percepción dureza
RF (%)	Correlación de Pearson	1	-0.951**
	Sig. (bilateral)		0.000
	N	11	11
Rango K-W percepción dureza	Correlación de Pearson	-0.951**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	
	N	11	11

**La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

Al representar ambas variables en un diagrama de dispersión simple se puede observar que una menor reducción de fuerzas del pavimento fue percibida como una mayor dureza por los deportistas (Figura 5.13).

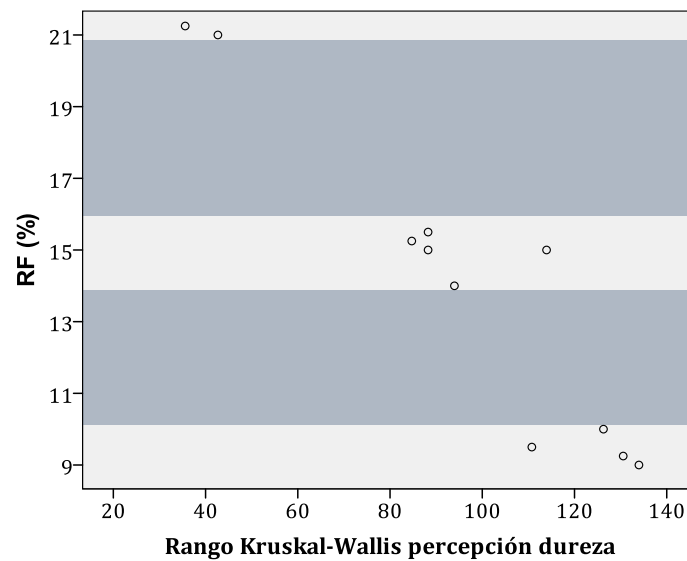


Figura 5.13. Diagrama de dispersión de la variable reducción de fuerzas respecto a la dureza del pavimento percibida por los deportistas (las bandas grises representan zonas en las que se ha detectado ausencia de datos).

Del diagrama de dispersión se concluyó que no se contaba con pistas con valores de RF entre aproximadamente el 16 y el 21% y el 10 y el 14% (zonas sombreadas), por lo que se desconocía cómo perciben los deportistas las pistas que cuenta con estos valores de RF.

El análisis de correlaciones bivariadas entre la reducción de fuerzas medida y la preferencia de dureza de los deportistas (basada en los rangos de Kruskal-Wallis) muestra los resultados que recoge la tabla 5.32.

5. Resultados

Tabla 5.32. Correlaciones bivariadas entre la reducción de fuerzas medida y la dureza preferida (rango Kruskal-Wallis).

		RF (%)	Rango K-W preferencia dureza
RF (%)	Correlación de Pearson	1	-0.942**
	Sig. (bilateral)		0.000
	N	11	11
Rango K-W preferencia dureza	Correlación de Pearson	-0.942**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	
	N	11	11

** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

Al representar ambas variables en un diagrama de dispersión simple, se puede observar que los deportistas prefieren pistas más blandas cuando la RF medida es menor (Figura 5.14).

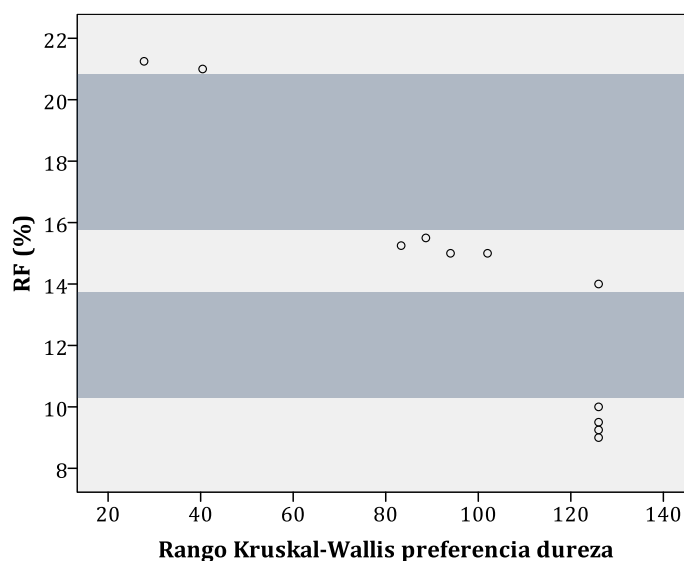


Figura 5.14. Diagrama de dispersión de reducción de fuerzas vs preferencia dureza (las bandas grises representan zonas en las que se ha detectado ausencia de datos).

Sin embargo, como se ha señalado, no se cuenta con pistas con valores de RF en las zonas sombreadas, por lo que, al igual que ocurría con la percepción de dureza, se desconoce la preferencia de los deportistas cuando las pistas

cuentan con valores de RF que oscilan entre el 16 y el 21% y el 10 y el 14% (Figura 5.14).

El análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis mostrado en el apartado 5.3.2.2 señaló que la percepción de los deportistas presentaba diferencias significativas entre pistas ($p < 0.05$). Por otro lado, el análisis de correlaciones realizado indicó que existe una elevada correlación entre la RF medida y la dureza percibida por los deportistas de forma que, cuanto menor era la RF, más dura percibían la pista los deportistas (como cabía esperar). Por tanto, ello lleva a pensar que la opinión de los deportistas sobre la dureza sí permite fijar los valores de referencia de la variable reducción de fuerzas.

Del mismo modo, existe una alta correlación entre la RF y la preferencia de dureza de los deportistas, indicando que en aquellas pistas con menores valores de RF los deportistas preferirían que fueran más blandas y viceversa.

Del análisis de correlaciones bivariadas entre la percepción y la preferencia de dureza de los deportistas se obtienen los siguientes resultados (Tabla 5.33).

Tabla 5.33. Correlaciones bivariadas entre la percepción y preferencia de dureza.

			Percepción dureza	Preferencia dureza
Rho de Spearman	Percepción dureza	Coeficiente de correlación	1.000	0.791**
		Sig. (bilateral)		0.000
		N	176	176
	Preferencia dureza	Coeficiente de correlación	0.791**	1.000
		Sig. (bilateral)	0.000	
		N	176	176

** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

La correlación positiva indica que en aquellos casos en los que los deportistas perciben las pistas como duras, indican que la preferirían más blanda y viceversa.

A continuación se muestra el diagrama de dispersión de ambas variables (Figura 5.15).

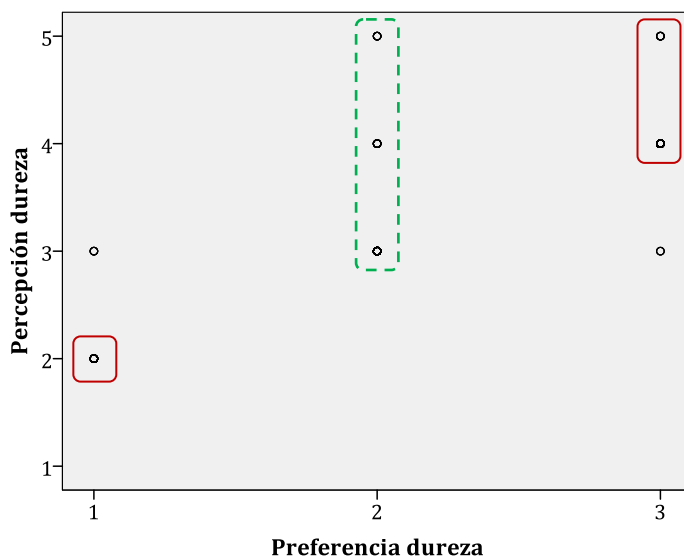


Figura 5.15. Diagrama de dispersión de percepción vs preferencia de dureza.

A partir del gráfico de dispersión entre las variables dureza percibida y preferencia se identificó que los valores de reducción de fuerza cuya preferencia hubiera sido valorada con un 2 (dureza de la pista perfecta) marcarían los valores de referencia de la variable RF de las pistas de pádel (puntos dentro del recuadro en línea verde discontinua).

Sin embargo, aquellas pistas valoradas con una dureza 1 ó 2 (pista muy blanda o blanda) y con una preferencia 1 (preferiría que la pista fuera más dura) o valorada con 3 o 4 (pista dura o muy dura) y con una preferencia 3 (preferiría que la pista fuera más blanda) fijarían los rangos por encima o por debajo de los cuales no debería encontrarse el valor de RF (puntos en el interior del recuadro en línea roja continua).

En el siguiente gráfico se han representado los valores de RF de las pistas correspondientes a los cuadros verde (línea discontinua) y rojo (línea continua) de la figura 5.15 frente a los valores de preferencia, fijándose por tanto el rango en que debe encontrarse esta variable (Figura 5.16):

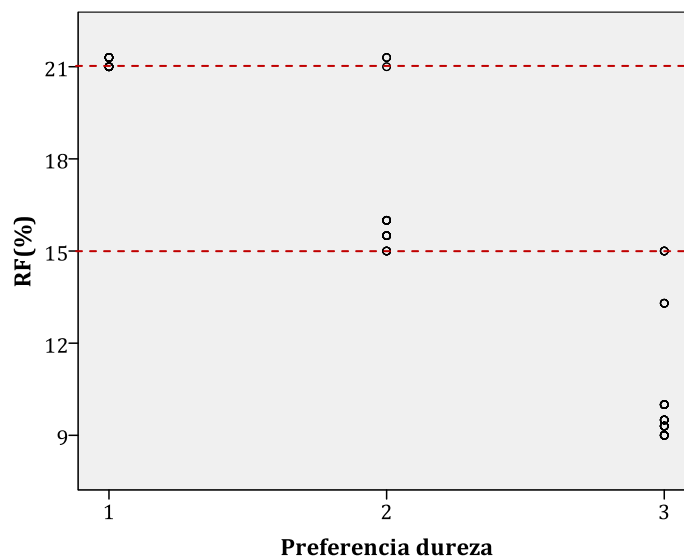


Figura 5.16. Diagrama de dispersión de RF vs preferencia de dureza de las pistas identificadas en la figura 4.15 (1: preferiría más dura; 2: la dureza es perfecta; 3: preferiría más blanda).

A partir de los resultados mostrados se identificó que la variable reducción de fuerzas debía encontrarse entre aproximadamente 15% y 21% para ser percibida como adecuada por los deportistas.

Uno de los criterios a tener en cuenta para fijar los valores de referencia de la RF es el número de deportistas que han indicado que el valor medido en la pista que se les ha entrevistado es insuficiente, adecuado o excesivo. La siguiente tabla muestra la frecuencia con la que los deportistas realizaron cada valoración de la preferencia. Debe tenerse en cuenta que el número de casos es menor de 176 porque algunos fueron descartados para este análisis siguiendo el criterio mostrado en la figura 5.15.

Tabla 5.34. Tabla de contingencia de la preferencia de dureza frente a la RF (%) medida.

		RF (%)									Total	
		9	9.3	9.5	10	13.3	15	15.5	16	21		21.3
Preferencia dureza	1	0	0	0	0	0	0	0	0	17	13	30
	2	0	0	0	0	0	8	12	12	2	4	38
	3	15	16	12	15	7	4	0	0	0	0	69
Total		15	16	12	15	7	12	12	12	19	17	137

En lo que atañe a los valores de RF por encima del 21%, se observa que de los 36 deportistas que contestaron sobre las pistas que presentaban estas propiedades, 30 (el 83%) opinaron que preferirían que fuera más dura y 6 (el 17%) que les parecía adecuada. Y de los 19 deportistas que opinaron sobre la pista que presentaba una RF del 21%, 17 la percibieron como demasiado blanda. Por tanto, el valor máximo de RF de las pistas de pádel de césped artificial se puede fijar en 21%.

Sin embargo, en el caso del valor mínimo de RF se observó que de los deportistas que opinaron sobre la pista que presentaba un valor de 15%, el 67% opinaron que era adecuado y el 33% que era insuficiente (pista demasiado dura). Sin embargo, todos los que opinaron sobre la pista que presentaba un valor de RF de 13.3% o menor señalaron que era insuficiente.

En este caso, como segundo criterio, al estar más relacionado con el rendimiento, se recurrió a la normativa que regula los pavimentos de césped artificial destinados a la práctica del tenis (UNE-EN 15330-1:2014), que indica que el valor mínimo de la RF en superficies destinadas a este deporte debe ser del 15%.

Por tanto, puesto que, de acuerdo a los resultados obtenidos y teniendo en cuenta el valor mínimo de RF fijado en el caso del tenis, se decidió fijar el valor de referencia de las superficies de césped artificial destinadas a la práctica del pádel en 15%, coincidiendo con el de las superficies para tenis de césped artificial.

5.3.3.2. Fricción

En la misma línea, el análisis de correlaciones entre la fricción medida y la percepción de los deportistas se muestra a continuación (Tabla 5.35):

Tabla 5.35. Correlaciones bivariadas entre la fricción medida y percibida por los deportistas (rango Kruskal-Wallis).

		Fricción	Rango K-W percepción fricción
Fricción	Correlación de Pearson	1	0.961**
	Sig. (bilateral)		0.000
	N	11	11
Rango K-W percepción fricción	Correlación de Pearson	0.961**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	
	N	11	11

** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

Se observa que existe una alta correlación entre la fricción medida y la resbaladidad percibida de forma que aquellas pistas con una menor fricción fueron percibidas por los deportistas como pavimentos con mayor resbaladidad.

Del mismo modo que ocurría en el caso de la dureza, el análisis de la varianza de variables no paramétricas Kruskal-Wallis mostró que los deportistas eran capaces de detectar diferencias significativas entre pistas ($p < 0.05$). Por tanto, cabe pensar que la opinión de los deportistas con respecto a la resbaladidad sí es un criterio aceptable para fijar los valores de referencia de la fricción de las pistas destinadas a la práctica del pádel.

La siguiente figura muestra el diagrama de dispersión que representa la variable medida fricción frente a la resbaladidad percibida por los deportistas (rango Kruskal-Wallis). Las zonas sombreadas en el gráfico representan los valores de fricción de los que no se tiene valoración de los deportistas por no contar en el estudio con pistas que presentaran dichos valores (Figura 5.17):

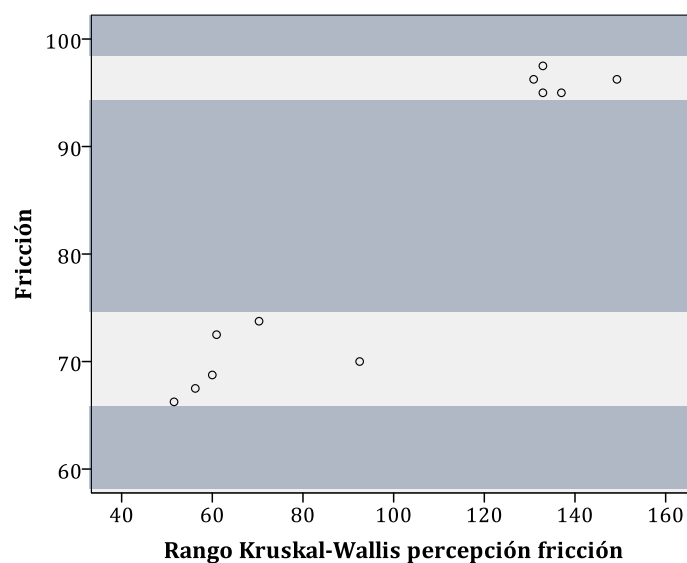


Figura 5.17. Diagrama de dispersión fricción medida vs percibida (rangos Kruskal-Wallis) (las bandas grises representan zonas en las que se ha detectado ausencia de datos).

El análisis de correlación entre la fricción medida y la preferencia de fricción indicada por los deportistas se muestra en la siguiente tabla (Tabla 5.36):

5. Resultados

Tabla 5.36. Correlaciones bivariadas entre la fricción medida y preferida por los deportistas (rangos Kruskal-Wallis).

		Fricción	Rango K-W preferencia fricción
Fricción	Correlación de Pearson	1	-0.968**
	Sig. (bilateral)		0.000
	N	11	11
Rango KW preferencia fricción	Correlación de Pearson	-0.968**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	
	N	11	11

** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

La siguiente figura muestra el diagrama de dispersión que representa la variable medida fricción frente a los rangos Kruskal-Wallis de la preferencia de resbaladidad indicada por los deportistas para cada una de las pistas (Figura 5.18):

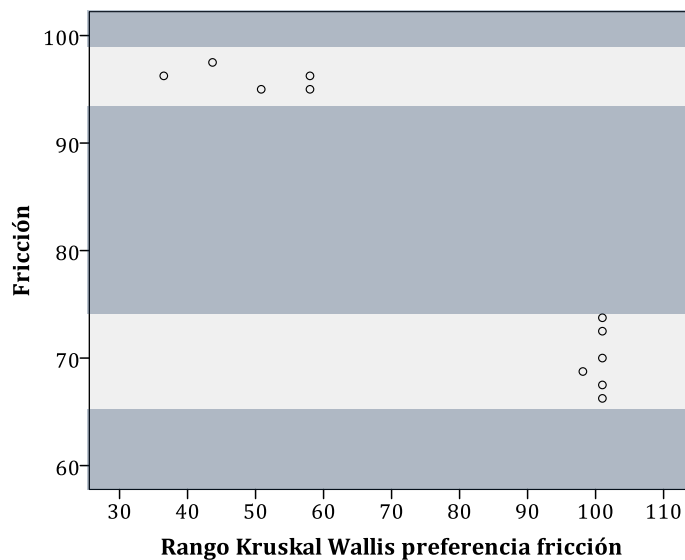


Figura 5.18. Diagrama de dispersión fricción medida vs preferencia (rango Kruskal-Wallis) (las bandas grises representan zonas en las que se ha detectado ausencia de datos).

Como se ha comentado al referirse a la figura 5.18, en el estudio no se contó con pistas cuya fricción medida estuviera en el rango sombreado, por lo que

no se dispuso de valoraciones con respecto a la preferencia de los deportistas en pistas con dicho valor de fricción.

Sin embargo, sí se puede apreciar que valores mayores de fricción se relacionan con rangos de Kruskal-Wallis más altos y viceversa. El análisis de estos resultados se presenta de forma pormenorizada más adelante mediante tablas de contingencia.

El análisis de correlación entre la percepción de fricción y la preferencia muestra una correlación significativa baja (Tabla 5.37):

Tabla 5.37. Correlaciones bivariadas entre la fricción percibida y preferida.

			Percepción fricción	Preferencia fricción
Rho de Spearman	Percepción fricción	Coefficiente de correlación	1.000	-0.437**
		Sig. (bilateral)		0.000
		N	176	176
	Preferencia fricción	Coefficiente de correlación	-0.437**	1.000
		Sig. (bilateral)	0.000	
		N	176	176

** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

En este caso la correlación obtenida no fue tan alta como en la obtenida entre la variable medida y la opinión de los deportistas. Ello se explica al observar el diagrama de dispersión (Figura 5.19) en el que se identifica que deportistas que indicaron que la fricción de la pista era excesiva, señalaron que la resbaladidad era adecuada al contestar la pregunta sobre su preferencia:

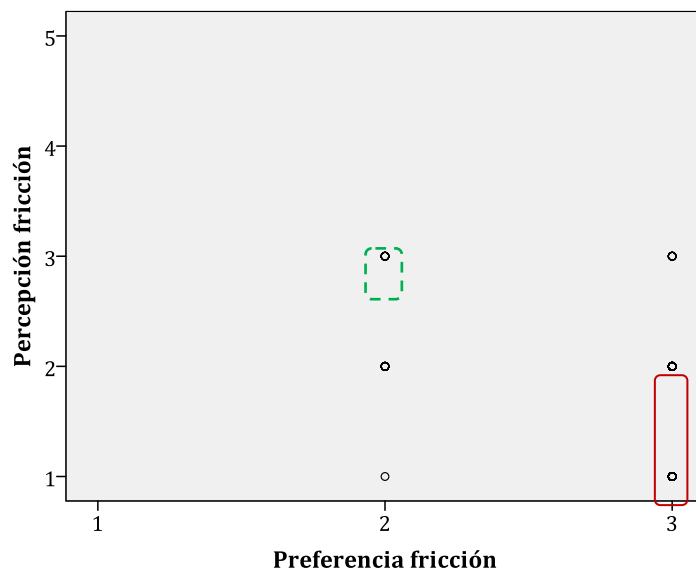


Figura 5.19. Diagrama de dispersión fricción percibida vs preferencia.

Al igual que en el caso de la RF, teniendo en cuenta la opinión de los deportistas que indicaron que la pista resbalaba o resbalaba mucho (percepción valorada en 2 y 1 respectivamente) (encuadrados en línea continua roja) y la de los que percibieron que no resbalaba ni mucho ni poco (percepción=3), se valoró la preferencia en un 2 como la resbaladidad perfecta (encuadrado en línea discontinua verde). Aislando las pistas correspondientes a esos datos y representando el diagrama de dispersión entre la variable fricción medida y la preferencia de fricción, se obtuvo el siguiente gráfico (Figura 5.20):

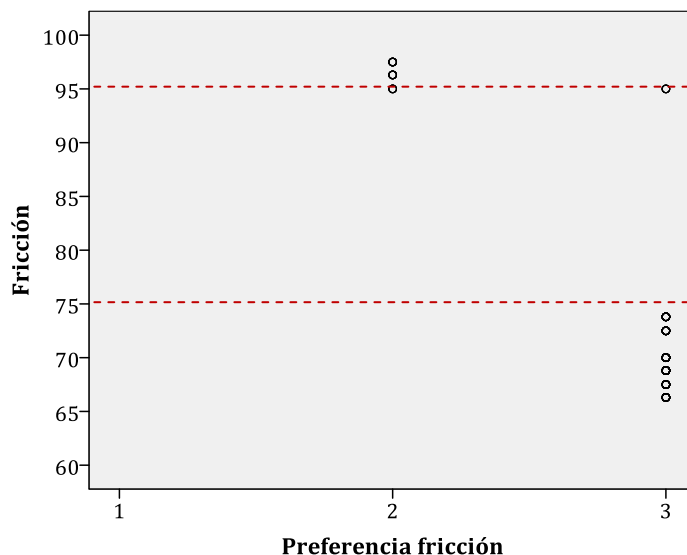


Figura 5.20. Diagrama de dispersión fricción medida vs preferencia en los casos identificados en la figura 4.19 (1: preferiría que la pista resbalara más; 2: la resbaladidad de la pista es perfecta; 3: preferiría que la pista resbalara menos).

Los resultados mostraron que, si bien valores de fricción de 74 eran deficientes para la mayor parte de los deportistas, se detectaron respuestas de deportistas que indicaban que preferirían que la pista agarrara más en superficies con una fricción medida de 95. Sin embargo, valores de fricción por encima de 95 fueron percibidos como adecuados por otros deportistas. Debe tenerse en cuenta, además, que no se detectó ningún caso en el que se hubiera valorado el agarre de alguna pista como excesivo.

La siguiente tabla muestra la frecuencia de la preferencia indicada por los deportistas con respecto a la fricción medida en cada una de las pistas (Tabla 5.38):

Tabla 5.38. Tabla de contingencia de la preferencia de dureza frente a la Fricción medida.

		Fricción									Total
		66	68	69	70	73	74	95	96	98	
Preferencia fricción	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	4	7	7	18
	3	16	16	29	30	16	16	4	0	0	127
Total		16	16	29	30	16	16	8	7	7	145

Se puede observar que valores de fricción por encima de 95 fueron valorados como aceptables por los deportistas que opinaron sobre las pistas que presentaban estos valores, mientras que una fricción por debajo de 95 fue considerada como insuficiente. El 50% de los deportistas (4 de 8) que expresaron su preferencia sobre el valor de fricción 95 indicaron que era adecuado, mientras que el otro 50% (4 de 8) señalaron que era insuficiente.

En el caso del tenis la norma que regula las superficies de césped artificial destinadas a esta disciplina deportiva (UNE-EN 15330-1) fija como adecuado un valor de fricción entre 55 y 110. Sin embargo, como se ha mostrado en las figuras 5.17 y 5.18, en este estudio no se cuenta con pistas cuya fricción esté por debajo de 65 o por encima de 100, por lo que no es posible conocer la valoración con respecto a los extremos del rango de fricción fijados por la citada norma.

Por otro lado, aunque en el caso de la fricción los requerimientos de agarre mínimo en tenis y en pádel son diferentes por la propia naturaleza del juego (en tenis los deportistas deslizan más), el valor máximo de fricción puede fijarse en 110 también en el caso del pádel con el objetivo de evitar lesiones por excesivo agarre. Sin embargo, según se desprende de los resultados, el valor de fricción mínimo correspondiente al tenis (55) sería insuficiente para la práctica del pádel (ver apartado 6.4.3).

La identificación del valor mínimo de fricción no resulta evidente por la propia naturaleza de las pistas estudiadas. No se han evaluado pistas con valor de fricción entre 75 y 95, por lo que se detecta una pérdida de información. Por tanto, se decidió fijar un valor mínimo de fricción de 95, ya que todas las pistas evaluadas con valores de fricción inferiores fueron valoradas por los deportistas con un 3, lo que indica que preferían un agarre mayor. El valor mencionado se validó en la fase siguiente de esta tesis doctoral.

5.3.3.3. Bote vertical de pelota (H (%))

El análisis de correlaciones entre el bote vertical medido (H (%)) y la percepción y preferencia de los deportistas mostró una correlación significativa moderada (Tabla 5.39):

Tabla 5.39. Correlaciones bivariadas entre el bote de pelota medido (H (%)) y percibido por los deportistas (rango Kruskal-Wallis).

		H (%)	Rango K-W percepción bote
H (%)	Correlación de Pearson	1	0.751**
	Sig. (bilateral)		0.008
	N	11	11
Rango K-W percepción bote	Correlación de Pearson	0.751**	1
	Sig. (bilateral)	0.008	
	N	11	11

** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

A continuación se presenta el diagrama de dispersión de la variable bote vertical de pelota frente a la percepción del mismo (Figura 5.21):

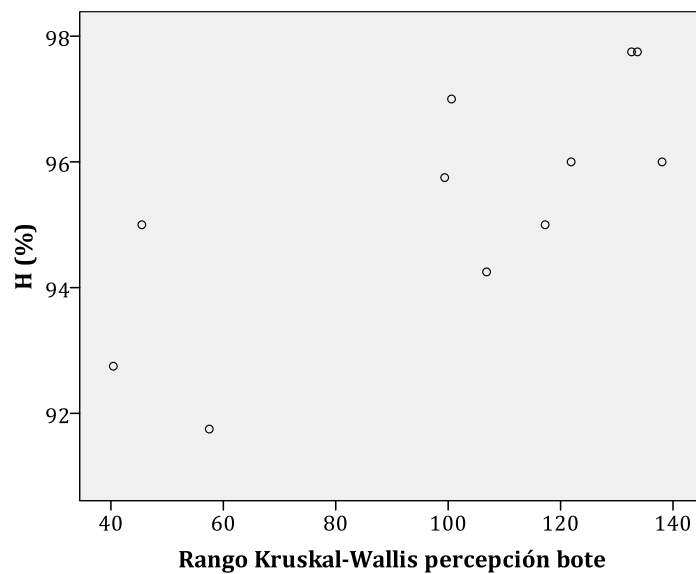


Figura 5.21. Diagrama de dispersión del bote medido vs percibido (rango Kruskal-Wallis).

Se puede observar que existe una correlación entre la altura medida del bote vertical de la pelota (H (%)) y la percibida por los deportistas. Además, cabe destacar que los resultados del análisis de la varianza de variables no paramétricas Kruskal-Wallis (ver apartado 5.3.2.4) indicaron que los deportistas percibieron diferencias significativas entre pistas.

Por tanto, teniendo en cuenta que el análisis de la varianza (ANOVA) de la variable H también presentó diferencias significativas entre pistas, este resultado, junto con el del análisis de correlaciones, indicó que la percepción de los deportistas era un dato válido para la identificación de los valores de referencia del bote vertical de pelota.

Los resultados obtenidos del análisis de correlaciones bivariadas entre la altura de bote medida y la preferencia de bote de los deportistas (rango Kruskal-Wallis) mostró una correlación significativa moderada entre ambas variables (Tabla 5.40):

Tabla 5.40. Correlaciones bivariadas entre el bote vertical de pelota medido y preferido por los deportistas (rango Kruskal-Wallis).

		H (%)	Rango K-W preferencia bote
H (%)	Correlación de Pearson	1	0.676*
	Sig. (bilateral)		0.022
	N	11	11
Rango K-W preferencia bote	Correlación de Pearson	0.676*	1
	Sig. (bilateral)	0.022	
	N	11	11

*. La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).

Se observa una correlación positiva entre ambas variables, lo que significa que, a medida que aumenta el bote, aumenta la valoración de la preferencia, correspondiendo el valor 3 a “prefiero que le pelota bote menos”.

A continuación se muestra el diagrama de dispersión de la variable altura de bote/preferencia del mismo (rangos Kruskal-Wallis) para cada una de las pistas (Figura 5.22):

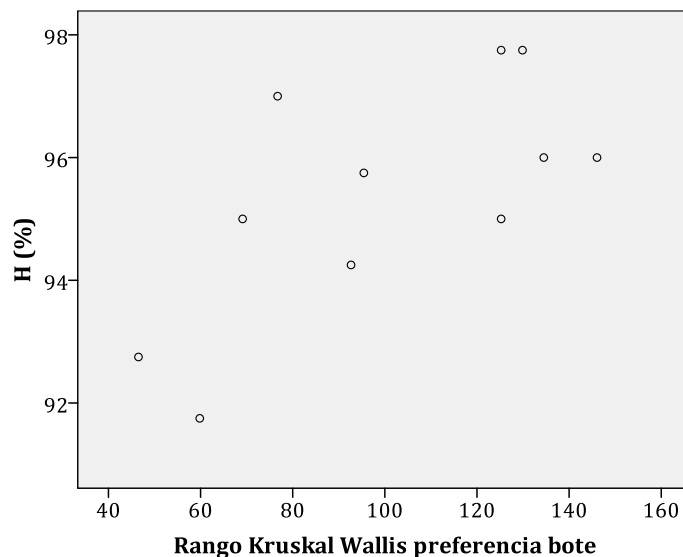


Figura 5.22. Diagrama de dispersión del bote medido vs preferido (rango Kruskal-Wallis).

Por último el análisis de correlaciones entre la percepción de bote y la preferencia mostró una correlación significativa alta (Tabla 5.41):

Tabla 5.41. Correlaciones bivariadas entre el bote vertical percibido y preferido por los deportistas.

			Percepción bote	Preferencia bote
Rho de Spearman	Percepción bote	Coeficiente de correlación	1.000	0.869**
		Sig. (bilateral)		0.000
		N	176	176
	Preferencia rebote	Coeficiente de correlación	0.869**	1.000
		Sig. (bilateral)	0.000	
		N	176	176

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Al igual que en el caso de las variables anteriores, a partir del diagrama de dispersión entre la percepción y la preferencia del bote de la pelota, se identificaron los casos de interés para fijar los valores de referencia de esta variable:

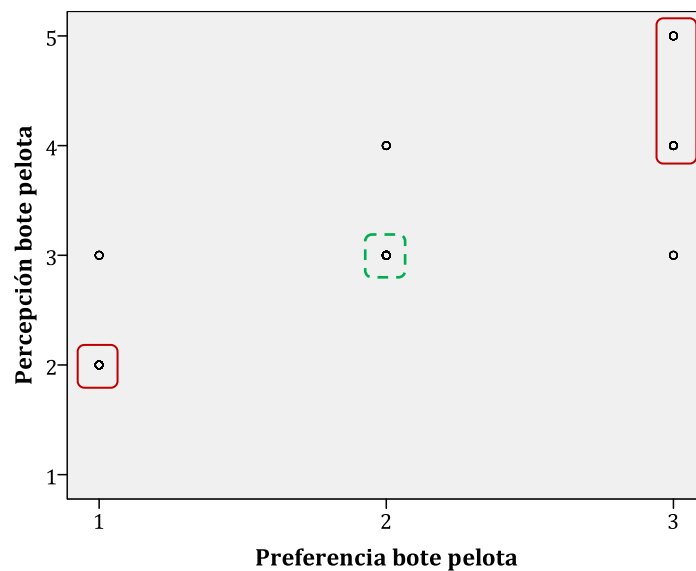


Figura 5.23. Diagrama de dispersión del bote percibido vs preferido.

Dichos datos se han aislado y representado frente a la altura de pelota medida (H(%)), quedando tal y como se muestra en el siguiente gráfico (Figura 5.24):

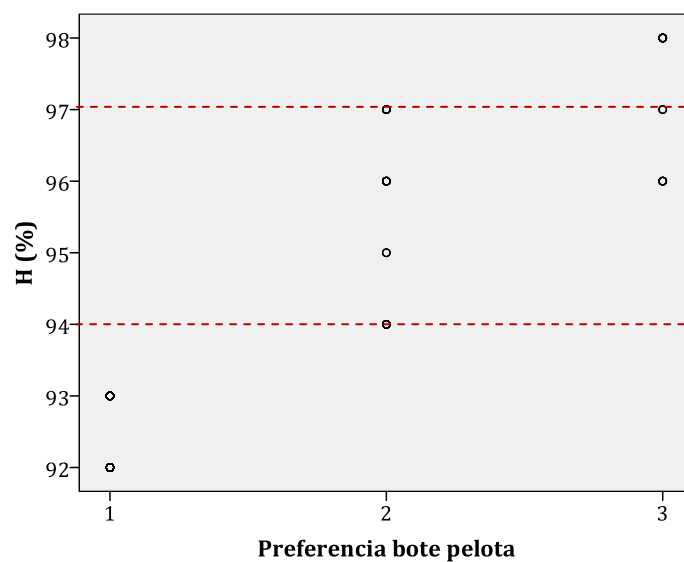


Figura 5.24. Diagrama de dispersión bote vertical de pelota medido vs preferencia en los casos identificados en la figura 5.23.

A partir de los resultados obtenidos, el rango en que se encuentra la altura de bote que la mayoría de los deportistas indicaron como adecuada es de 94-97%. Sin embargo, se puede observar en el gráfico anterior que en pistas en las que se ha medido una altura de bote del 95% hubo deportistas que señalaron que el bote fue excesivo. Por tanto, para fijar el valor de referencia máximo se debe comprobar si esta opinión es mayoritaria. La siguiente tabla de contingencia muestra la frecuencia de respuestas de preferencia de bote de pelota para cada uno de los valores de H obtenidos (Tabla 5.42):

Tabla 5.42. Tabla de contingencia de la preferencia de bote de pelota frente a la H (%) medida.

		H (%)							Total
		92	93	94	95	96	97	98	
Preferencia	1	39	32	0	0	0	0	0	71
bote pelota	2	0	0	10	2	19	14	0	45
	3	0	0	0	0	5	4	20	29
Total		39	32	10	2	24	18	20	145

Se puede observar que los valores de H de 96 y 97% fueron valorados como adecuados por 19 y 14 deportistas respectivamente, mientras que fueron valorados como excesivos por 5 y 4 deportistas respectivamente. El valor de bote vertical de pelota de 98% fue valorado como excesivo por el 100% de los deportistas entrevistados, por lo que se fija 97% como máximo aceptable para los jugadores de pádel.

Con respecto al valor mínimo, una altura de bote vertical de pelota de 93% fue valorada como deficiente por el 100% de los deportistas entrevistados, por lo que se fija un valor de H de 94% como mínimo aceptable.

5.3.4. Valores de referencia identificados

De acuerdo a los resultados obtenidos, se fijaron los siguientes valores de referencia:

- RF (%): 15 - 21
- Fricción: 95 -110
- H (%): 94 - 97

Estos valores fueron validados en la fase siguiente de esta tesis doctoral y modificados en aquellos aspectos que se consideró necesario (ver apartado 5.5).

5.4. Fase 3. Validación de los valores de referencia

El desarrollo de esta fase tiene como objetivo validar los valores de referencia identificados en la Fase 2. Dicha validación se realizó en dos etapas diferentes (ver apartado 4.4):

1. Evaluación subjetiva de dos pistas tras la disputa de partido. Una de las pistas contaba con propiedades dentro de los valores de referencia identificados; la otra se consideraba inadecuada de acuerdo a los rangos establecidos para las diferentes propiedades.
2. Evaluación subjetiva de una pista tras la realización de un circuito controlado utilizando zapatillas con características de la suela diferentes. La pista contaba con propiedades dentro del rango de los valores de referencia identificados.

A continuación se detallan los resultados obtenidos en cada una de las etapas.

5.4.1. Validación tras partido

5.4.1.1. Caracterización de los deportistas

Dado que previamente a la realización de la encuesta no se comprobaban las características de cada deportista, un total de 150 deportistas participaron en el estudio con el objetivo de garantizar que, si se descartaban deportistas por no cumplir con los requisitos marcados, se iba a alcanzar el número de casos necesarios. Finalmente, 110 de los deportistas que contestaron la encuesta cumplían con los requisitos indicados. Las tablas 5.43 a 5.47 presentan las características de los deportistas incluidos en el estudio:

Tabla 5.43. Estadísticos descriptivos de la edad de los deportistas.

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
Edad	110	19.00	35.00	28.67	7.63
N válido	110				

Tabla 5.44. Distribución por sexos de los deportistas.

		Frecuencia	Porcentaje
Válidos	Hombre	76	69.1
	Mujer	34	30.9
	Total	110	100.0

Tabla 5.45. Distribución por instalación habitual de práctica del pádel.

¿Juega habitualmente en esta instalación?		Frecuencia	Porcentaje
Válidos	No	0	0.0
	Sí	110	100.0
	Total	110	100.0

Tabla 5.46. Distribución por frecuencia de juego.

Horas de práctica a la semana		Frecuencia	Porcentaje
Válidos	>1 & <3	18	16.4
	>3 & ≤5	76	69.1
	>5	16	14.5
	Total	110	100.0

Tabla 5.47. Distribución por experiencia.

Experiencia (años)		Frecuencia	Porcentaje
Válidos	>1 & <3	24	21.8
	>3 & <5	66	60.0
	>5	20	18.2
	Total	110	100.0

El 69.1% de los deportistas que rellenaron la encuesta eran hombres y el 30.9% mujeres. El mayor porcentaje de jugadores (69.1%) practicaba pádel entre 3 y 5 horas a la semana, mientras que un 14.5% jugaba más de cinco horas a la semana y un 16.4% entre 1 y 3 hora a la semana. En lo que se refiere a la experiencia en el ejercicio de este deporte, el 60.0% lo llevaba practicando entre 3 y 5 años y un 18.2% más de 5 años. Un 21.8% de los deportistas que cumplieron los requisitos para participar en el estudio lo practicaba entre 1 y 3 años atrás.

5.4.1.2. Propiedades de las pistas

Las propiedades de las pistas sobre las que se realizó la validación tras disputar un partido son las mostradas en la siguiente tabla (Tabla 5.48):

Tabla 5.48. Propiedades mecánicas de las pistas seleccionadas para la validación.

Código pista	D_1	E_1
RF (%)	17	6
Fricción	98	80
H (%)	94	100

La pista codificada como D_1 contaba con sus propiedades dentro de los valores de referencia identificados, mientras que las propiedades de la pista codificada como E_1 se encontraban fuera de dichos valores.

5.4.1.3. Valoración subjetiva de los deportistas

A continuación se muestran los resultados obtenidos a partir de la valoración subjetiva de los deportistas de cada una de las pistas, tanto en relación a su percepción como a su preferencia.

5.4.1.3a. Dureza

Percepción de dureza

Los estadísticos descriptivos de la variable percepción de dureza obtenidos para cada una de las pistas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5.49. Estadísticos descriptivos de la variable percepción de dureza.

	D_1	E_1
N	55	55
Media	3.09	4.53
Moda	3	5
Desv. típ.	0.290	0.504

Los resultados obtenidos del análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis mostraron diferencias significativas entre pistas ($p < 0.05$):

Tabla 5.50. Análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis (percepción dureza).

Rangos			
	Código pista	N	Rango promedio
Percepción de dureza	D_1	55	29.18
	E_1	55	81.82
	Total	110	

Estadísticos de contraste^{a,b}

	Percepción dureza
Chi-cuadrado	86.522
gl	1
Sig. asintót.	0.000

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Código pista

Los deportistas entrevistados percibieron la pista E_1 significativamente más dura que la pista D_1.

La siguiente tabla muestra la frecuencia con la que los deportistas valoraron los diferentes niveles de percepción de la dureza de ambas pistas (Tabla 5.51):

Tabla 5.51. Tabla de contingencia de la percepción de dureza en ambas pistas (1: muy blanda; 2: blanda; 3: ni blanda ni dura; 4: dura; 5: muy dura).

	Percepción de dureza					Total
	1	2	3	4	5	
Código pista D_1	0	0	50	5	0	55
E_1	0	0	0	26	29	55
Total	0	0	50	31	29	110

Se observó que la pista D_1 era valorada por la mayoría de los deportistas entrevistados (50) como “ni blanda ni dura” (solamente 5 de los 55 entrevistados indicaron que la percibían dura). Sin embargo, en el caso de la pista E_1 todos los deportistas percibieron la superficie como dura o muy dura.

Preferencia de dureza

Los estadísticos descriptivos de la variable preferencia de dureza obtenidos para cada una de las pistas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5.52. Estadísticos descriptivos de la variable preferencia de dureza.

	D_1	E_1
N	55	55
Media	2.24	2.87
Moda	2	3
Desv. típ.	0.429	3

Los resultados obtenidos del análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis mostraron diferencias significativas entre pistas ($p < 0.05$) (Tabla 5.53):

Tabla 5.53. Análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis (preferencia de dureza).

Rangos			
	Código pista	N	Rango promedio
Preferencia de dureza	D_1	55	38.00
	E_1	55	73.00
	Total	110	

Estadísticos de contraste^{a,b}

	Preferencia de dureza
Chi-cuadrado	44.672
gl	1
Sig. asintót.	0.000

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Código pista

Las frecuencias con la que los deportistas expresaron cada una de las valoraciones sobre las diferentes pistas, se muestran en la siguiente tabla de contingencia (Tabla 5.54):

Tabla 5.54. Tabla de contingencia de la preferencia de dureza (1: preferiría que la pista fuera más dura; 2: la dureza de la pista es perfecta; 3: preferiría que la pista fuera más blanda).

		Preferencia de dureza			Total
		1	2	3	
Código pista	D_1	0	42	13	55
	E_1	0	7	48	55
Total		0	49	61	110

El 76% de los deportistas entrevistados en la pista D_1 opinó que la dureza de la pista era perfecta, mientras que el 24% restante indicó que preferiría que la pista fuera menos dura. Sin embargo, en la pista E_1 el 87% de los deportistas opinó que preferiría que la pista fuera menos dura, mientras que un 13% opinó que la dureza de la pista era perfecta.

Estos resultados son acordes a los obtenidos sobre la variable percepción de dureza, que indicó que los deportistas percibían más dura la pista E_1 que la pista D_1.

5.4.1.3b. Fricción

Percepción de fricción

La siguiente tabla muestra los estadísticos descriptivos de la variable percepción de fricción obtenidos para cada una de las pistas (Tabla 5.55):

Tabla 5.55. Estadísticos descriptivos de la variable percepción de fricción.

	D_1	E_1
N	55	55
Media	2.85	2.73
Moda	3	3
Desv. típ.	0.356	0.449

Los resultados obtenidos del análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis no mostraron diferencias significativas entre pistas ($p < 0.05$):

Tabla 5.56. Análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis (percepción fricción).

Rangos			
	Código pista	N	Rango promedio
Percepción de fricción	D_1	55	59.00
	E_1	55	52.00
	Total	110	

Estadísticos de contraste^{a,b}

	Percepción de fricción
Chi-cuadrado	2.669
gl	1
Sig. asintót.	0.102

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Código pista

El análisis mostró que no existían diferencias estadísticamente significativas en la fricción percibida por los deportistas en ambas pistas.

La siguiente tabla muestra la frecuencia de la percepción indicada por los deportistas con respecto a la fricción en cada una de las pistas (Tabla 5.57):

5. Resultados

Tabla 5.57. Tabla de contingencia de la percepción de fricción en ambas pistas (1: resbala mucho; 2: resbala un poco; 3: la resbaladidad es adecuada; 4: frena un poco; 5: frena mucho).

		Percepción de fricción					Total
		1	2	3	4	5	
Código pista	D_1	0	8	47	0	0	55
	E_1	0	15	40	0	0	55
Total		0	23	87	0	0	110

Los resultados mostraron que la mayoría de los deportistas percibieron que la fricción de las pistas era adecuada (85% de los casos en la pista D_1 y 73% en la pista E_1). El resto de deportistas indicaron, en ambas pistas, que resbalaban un poco.

Preferencia de fricción

La siguiente tabla muestra los estadísticos descriptivos de la variable preferencia de fricción obtenidos para cada una de las pistas (Tabla 5.58):

Tabla 5.58. Estadísticos descriptivos de la variable preferencia de fricción.

	D_1	E_1
N	55	55
Media	2.29	2.38
Moda	2	2
Desv. típ.	0.458	0.490

La realización del análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis no identificó diferencias significativas entre pistas ($p < 0.05$) (Tabla 5.59):

Tabla 5.59. Análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis (preferencia de fricción).

Rangos			
	Código pista	N	Rango promedio
Preferencia de fricción	D_1	55	53.00
	E_1	55	58.00
	Total	110	

Estadísticos de contraste^{a,b}

	Preferencia de fricción
Chi-cuadrado	1.009
gl	1
Sig. asintót.	0.315

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Código pista

La siguiente tabla muestra la frecuencia con la que los deportistas expresaron cada uno de los valores relativos a la preferencia de fricción en cada una de las pistas (Tabla 5.60):

Tabla 5.60. Tabla de contingencia de la preferencia de fricción (1: preferiría que la pista resbalara más; 2: la resbaladidad de la pista es perfecta; 3: preferiría que la pista resbalara menos).

		Preferencia de fricción			Total
		1	2	3	
Código pista	D_1	0	39	16	55
	E_1	0	34	21	55
Total		0	73	37	110

La tabla de contingencia señaló que la mayoría de los deportistas indicaron que la fricción de las pistas era perfecta (71% y 62% en las pistas D_1 y E_1 respectivamente), mientras que el resto de los jugadores indicaron que preferirían que la resbaladidad fuera menor en ambas pistas.

5.4.1.3c. Bote de pelota

Percepción del bote de pelota

La siguiente tabla muestra los estadísticos descriptivos de la variable percepción de bote de pelota obtenidos para cada una de las pistas (Tabla 5.61):

Tabla 5.61. Estadísticos descriptivos de la variable preferencia de percepción bote pelota.

	D_1	E_1
N	55	55
Media	2.98	3.65
Moda	3	4
Desv. típ.	0.304	0.480

Los resultados obtenidos del análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis mostraron diferencias significativas entre el bote percibido por los deportistas en ambas pistas ($p < 0.05$) (Tabla 5.62):

Tabla 5.62. Análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis (percepción del bote de pelota).

Rangos			
	Código pista	N	Rango promedio
Percepción del bote de pelota	D_1	55	37.98
	E_1	55	73.02
	Total	110	

Estadísticos de contraste^{a,b}	
	Percepción del bote de pelota
Chi-cuadrado	46.597
gl	1
Sig. asintót.	0.000

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Código pista

Los resultados del análisis mostraron diferencias significativas en el bote percibido por los deportistas en las dos pistas, siendo el bote percibido en la pista E_1 mayor que el percibido en la pista D_1.

La siguiente tabla muestra la frecuencia con la que los deportistas expresaron cada uno de los valores relativos a la percepción del bote de pelota en cada una de las pistas (Tabla 5.63):

Tabla 5.63. Tabla de contingencia de la percepción de bote de pelota en ambas pistas (1: bota muy poco; 2: bota poco; 3: bota correctamente; 4: bota alta; 5: bota muy alta).

	Percepción del bote de pelota					Total
	1	2	3	4	5	
D_1	0	3	50	2	0	55
E_1	0	0	19	36	0	55
Total	0	3	69	39	0	110

La tabla de contingencia muestra que en el caso de la pista D_1 la mayoría de los deportistas (91%) percibieron que el bote de la pelota era adecuado. El resto de deportistas indicaron que la pelota botaba poco (5%) y que botaba alto (4%).

En el caso de la pista E_1 la mayoría de los deportistas entrevistados (65%) opinó que la pelota botaba alta, mientras que el resto (35%) indicó que el bote de la pelota era perfecto.

Preferencia del bote de pelota

Los estadísticos descriptivos obtenidos de la variable preferencia de bote de pelota para cada una de las pistas se muestran en la siguiente tabla (Tabla 5.64):

Tabla 5.64. Estadísticos descriptivos de la variable preferencia de bote de pelota.

	D_1	E_1
N	55	55
Media	2.49	3.49
Moda	2	3
Desv. típ.	0.505	0.505

Los resultados obtenidos del análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis mostraron diferencias significativas entre pistas ($p < 0.05$) (Tabla 5.65):

Tabla 5.65. Análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis (preferencia de bote de pelota).

Rangos			
	Código pista	N	Rango promedio
Preferencia del bote de pelota	D_1	55	34.87
	E_1	55	76.13
	Total	110	

Estadísticos de contraste^{a,b}	
	Preferencia del bote de pelota
Chi-cuadrado	54.514
gl	1
Sig. asintót.	0.000

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Código pista

A continuación se muestra la tabla de contingencia donde se indica la frecuencia de la valoración de la preferencia del bote de pelota para cada una de las pistas (Tabla 5.66):

5. Resultados

Tabla 5.66. Tabla de contingencia de la preferencia de bote de pelota (1: preferiría que la pelota botara más; 2: el bote de la pelota es perfecto; 3: preferiría que la pelota botara menos).

		Preferencia del bote de pelota			Total
		1	2	3	
Código pista	D_1	11	44	0	55
	E_1	0	23	32	55
Total		11	67	32	110

Los resultados de la tabla de contingencia muestran que, mientras en el caso de la pista D_1 hubo deportistas que indicaron que preferirían que la pelota botara más, la mayoría indicó que el bote de la pelota era perfecto y ninguno señaló que preferiría que la pelota botara menos. En el caso de la pista E_1 la mayoría de los deportistas (58.1%) indicó que preferiría que la pelota botara menos, aunque un número elevado de jugadores (23 de 55, 41.8%) señaló que el bote de la pelota era adecuado.

5.4.1.3d. Percepción de seguridad

Los estadísticos descriptivos obtenidos de la variable percepción de seguridad para cada una de las pistas se muestran en la siguiente tabla (Tabla 5.67):

Tabla 5.67. Estadísticos descriptivos de la variable percepción de seguridad.

	D_1	E_1
N	55	55
Media	3.56	2.71
Moda	4	3
Desv. típ.	0.501	0.685

Los resultados obtenidos del análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis mostraron diferencias significativas entre la seguridad percibida en ambas pistas ($p < 0.05$) (Tabla 5.68):

Tabla 5.68. Análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis (percepción de seguridad).

Rangos			
	Código pista	N	Rango promedio
Percepción de seguridad	D_1	55	72.52
	E_1	55	38.48
	Total	110	

Estadísticos de contraste^{a,b}

	Percepción de seguridad
Chi-cuadrado	36.352
gl	1
Sig. asintót.	0.000

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Código pista

El análisis mostró diferencias significativas en la seguridad percibida por los deportistas en ambas pistas, siendo la pista D_1 percibida más segura.

Las tablas de contingencia obtenidas muestran los siguientes resultados (Tabla 5.69):

Tabla 5.69. Tabla de contingencia de la percepción de seguridad en cada una de las pistas (1: muy mala; 2: mala; 3: ni buena ni mala; 4: buena; 5: muy buena).

		Percepción de seguridad					Total
		1	2	3	4	5	
Código pista	D_1	0	0	24	31	0	55
	E_1	0	23	25	7	0	55
Total		0	23	49	38	0	110

Los resultados mostrados en la tabla 5.69 señalan que el 56% de los deportistas entrevistados en la pista D_1 indicó que su percepción de seguridad era buena, mientras que el resto (44%) opinó que dicha percepción no era ni buena ni mala. Ninguno de los deportistas entrevistado indicó que la percepción de seguridad fuera mala.

Sin embargo, en el caso de la pista E_1 un 42% de los deportistas indicó que la seguridad percibida era mala, mientras que solamente un 13% de ellos opinó que era buena. El resto de deportistas (45%) señaló que la seguridad percibida no era ni buena ni mala.

5.4.1.3e. Percepción de rendimiento

La siguiente tabla muestra los estadísticos descriptivos obtenidos de la variable percepción de rendimiento para cada una de las pistas (Tabla 5.70):

Tabla 5.70. Estadísticos descriptivos de la variable percepción de rendimiento.

	D_1	E_1
N	55	55
Media	3.62	3.04
Moda	4	3
Desv. típ.	0.561	0.719

Los resultados obtenidos del análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis no mostraron diferencias significativas entre el rendimiento percibido en las dos pistas ($p < 0.05$) (Tabla 5.71):

Tabla 5.71. Análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis (percepción de rendimiento).

Rangos

	Código pista	N	Rango promedio
Percepción de rendimiento	D_1	55	55.36
	E_1	55	55.64
	Total	110	

Estadísticos de contraste^{a,b}

	Percepción de rendimiento
Chi-cuadrado	0.003
gl	1
Sig. asintót.	0.957

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Código pista

El análisis de la varianza no paramétrico mostró que los deportistas no percibían diferencias significativas en cuanto al rendimiento logrado en ambas pistas.

A continuación se muestra la tabla de contingencia en la que se presenta la frecuencia de la valoración de la percepción de rendimiento para cada una de las pistas (Tabla 5.72):

Tabla 5.72. Tabla de contingencia de la percepción de rendimiento en cada una de las pistas (1: muy malo; 2: malo; 3: ni bueno ni malo; 4: bueno; 5: muy bueno).

		Percepción de rendimiento					Total
		1	2	3	4	5	
Código pista	D_1	0	2	17	36	0	55
	E_1	0	8	25	22	0	55
Total		0	10	51	49	0	110

La mayoría de los deportistas entrevistados en la pista D_1 (65%) indicó que el rendimiento percibido era bueno. El 31% opinó que era “ni bueno ni malo” y el resto (4%) indicó que el rendimiento era malo. En el caso de la pista E_1 el 40% de los jugadores indicó que el rendimiento percibido era bueno, mientras que el 45% señaló que no era “ni bueno ni malo”. El 15% restante indicó que el rendimiento percibido era malo.

5.4.1.3f. Valoración general

La siguiente tabla muestra los estadísticos descriptivos obtenidos de la valoración general de cada una de las pistas (Tabla 5.73):

Tabla 5.73. Estadísticos descriptivos de la variable valoración general.

	D_1	E_1
N	55	55
Media	3.71	2.04
Moda	4	2
Desv. típ.	0.458	0.719

Los resultados obtenidos del análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis mostraron diferencias significativas entre la valoración general que los deportistas realizaron de ambas pistas ($p < 0.05$) (Tabla 5.74):

Tabla 5.74. Análisis de la varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis (valoración general de la pista).

Rangos			
	Código pista	N	Rango promedio
Valoración general	D_1	55	80.82
	E_1	55	30.18
	Total	110	

Estadísticos de contraste^{a,b}

	Valoración general
Chi-cuadrado	75.597
gl	1
Sig. asintót.	0.000

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Código pista

A continuación se muestra la tabla de contingencia donde se presenta la frecuencia con que los deportistas seleccionaron las diferentes valoraciones posibles para ambas pistas (Tabla 5.75):

Tabla 5.75. Tabla de contingencia de la valoración general de cada una de las pistas (1: muy mala; 2: mala; 3: ni buena ni mala; 4: buena; 5: muy buena).

		Valoración general					Total
		1	2	3	4	5	
Código pista	D_1	0	0	16	39	0	55
	E_1	13	27	15	0	0	55
Total		13	27	31	39	0	110

Los resultados obtenidos indican que en el caso de la pista D_1 el 71% de los deportistas opinó que la superficie de juego era buena, mientras que el 29% restante indicó que no era “ni buena ni mala”. Sin embargo, en el caso de la pista E_1, mientras que el 27% indicó que no percibía la pista como “ni buena ni mala”, el 49% opinó que la pista era mala y el 24% que era muy mala.

5.4.1.4. Análisis de correlaciones de la valoración subjetiva de los deportistas

Finalmente, con el objetivo de conocer la relación existente entre la percepción de los deportistas de cada una de las propiedades evaluadas, la seguridad y el rendimiento percibidos y la valoración global (Tabla 5.76).

Tabla 5.76. Correlaciones bivariadas entre la percepción de las propiedades del pavimento, la percepción de seguridad y rendimiento y la valoración general.

			Percepción de seguridad	Percepción de rendimiento	Valoración general
Rho de Spearman	Percepción de dureza	Coefficiente de correlación	-0.444**	-0.197*	-0.727**
		Sig. (bilateral)	0.000	0.039	0.000
		N	110	110	110
	Percepción de fricción	Coefficiente de correlación	-0.028	0.122	0.013
		Sig. (bilateral)	0.770	0.204	0.894
		N	110	110	110
	Percepción de bote de pelota	Coefficiente de correlación	.	.	.
		Sig. (bilateral)	.	.	.
		N	110	110	110

** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

* La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).

Los resultados muestran que existe correlación entre la percepción de dureza y la percepción de seguridad, de forma que cuanto más dura indican que es la pista, menos segura la perciben. Del mismo modo, a medida que la percepción de dureza es mayor, la valoración general de la pista es peor. Desde el punto de vista de la percepción del rendimiento no se ha detectado una alta correlación con la percepción de dureza.

Por otro lado, no se ha encontrado correlación entre la percepción de fricción y de bote de pelota con la seguridad y el rendimiento percibidos así como con la valoración global de la pista.

Por otro lado, se analizó la correlación entre la percepción de la seguridad y rendimiento y la valoración global de las pistas (Tabla 5.77):

5. Resultados

Tabla 5.77. Correlaciones bivariadas entre la percepción de seguridad y rendimiento y la valoración general de las pistas.

			Percepción de seguridad	Percepción de rendimiento	Valoración general
Rho de Spearman	Percepción de seguridad	Coefficiente de correlación	1.000	0.284**	0.444**
		Sig. (bilateral)	.	0.003	0.000
		N	110	110	110
	Percepción de rendimiento	Coefficiente de correlación	0.284**	1.000	0.150
		Sig. (bilateral)	0.003	.	0.117
		N	110	110	110

** . La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

Se observa que cuando los deportistas perciben una mayor seguridad, perciben además un mayor rendimiento y la valoración general de la pista es mayor. No se ha detectado que exista correlación entre la percepción del rendimiento y la valoración global de la pista en los deportistas entrevistados (*amateurs*).

5.4.2. Validación tras circuito controlado

El trabajo realizado para la validación mediante circuito controlado de los valores de referencia identificados se dividió en las siguientes tareas:

- Selección de la pista cuyas propiedades se encontraran dentro de los rangos establecidos como valores de referencia para las superficies de césped artificial destinadas a la práctica del pádel.
- Selección del calzado a utilizar para realizar la validación de las propiedades de la pista.
- Realización del estudio de campo, que consistió en la evaluación del rendimiento deportivo y de la opinión subjetiva de los deportista con respecto a las diferentes propiedades evaluadas y a la percepción de seguridad y rendimiento durante la realización de diferentes movimientos sobre la superficie de juego.

Debe tenerse en cuenta que durante esta etapa solamente se validaron las propiedades que suponen una interacción entre el calzado y el pavimento (re-

ducción de fuerzas y fricción). La validación de la interacción entre la pelota y el pavimento se realizó en la etapa anterior (ver apartado 5.4.1).

A continuación se describen los resultados obtenidos en cada una de las tareas realizadas.

5.4.2.1. Selección de la pista

Se ensayaron un total de cinco pistas cuya fecha de instalación y tipología de césped coincidía con las pistas correspondientes a la instalación B, ya que, excepto la B_3, todas las pistas contaban con propiedades dentro del rango de los valores de referencia identificados.

Tras la evaluación de las cinco pistas y el análisis de los resultados, se identificó aquellas pistas que contaban con propiedades dentro de los rangos de referencia identificados. La pista seleccionada fue la correspondiente al código D_1 sobre la cual se realizó la validación tras disputar un partido. A modo de recordatorio la siguiente tabla muestra el resultado de las propiedades medidas en dicha pista (Tabla 5.78):

Tabla 5.78. Propiedades mecánicas de la pista seleccionada (D_1).

RF (%)	Fricción	H (%)
17	98	94

5.4.2.2. Selección del calzado

La selección del calzado se llevó a cabo mediante un grupo de discusión en el que se identificaron los modelos de calzado mejor y peor valorados por los deportistas. Posteriormente, se validaron las opiniones expresadas por los expertos mediante ensayos mecánicos que analizaron la interacción entre el calzado y el pavimento.

A continuación se describe de forma detallada los resultados obtenidos de dicho proceso de selección.

5.4.2.2a. Grupo de discusión

En este apartado se recogen los resultados más relevantes extraídos de la sesión con expertos para la identificación de los modelos/marcas de zapatillas que, según su opinión, proporcionan una mejor y una peor interacción con el pavimento desde el punto de vista de su amortiguación y su agarre.

5. Resultados

Durante la sesión se obtuvo información sobre qué características valoraban para juzgar lo adecuada que era una zapatilla para la práctica de este deporte. Respecto al dibujo de la suela indicaron que preferían el dibujo omni y rechazaron unánimemente las suelas con dibujo espiga porque, según su opinión, este tipo de suelas ha sido diseñada para la práctica del tenis en tierra batida pero no funciona adecuadamente durante la práctica del pádel en césped artificial.

Se preguntó a los expertos qué propiedades debía poseer una zapatilla ideal para la práctica del pádel, a lo que contestaron que, desde el punto de vista del agarre, no debía ser excesivo pero tampoco deficiente y, sobre todo, debía minimizar el riesgo de resbalar en los inicios de carrera. La amortiguación es una propiedad que no relacionaban con la seguridad sino con el confort.

Finalmente se pidió a los participantes en el grupo que, teniendo en cuenta la información aportada, identificaran las dos mejores zapatillas del mercado (con suelas diferentes) y la que consideraban peor.

Tras diferentes discusiones llegaron a un acuerdo sobre las dos mejores zapatillas del mercado: la ZAPATILLA 1 (ZAP_1) (con suela omni) y la ZAPATILLA 3 (ZAP_3) (con suela mixta), y sobre una de las peores: la ZAPATILLA 2 (ZAP_2)¹ (con suela mixta) (Figura 5.25).



Figura 5.25. Zapatillas seleccionadas en el grupo de discusión; izquierda: ZAP_1; centro: ZAP_2; derecha: ZAP_3.

Los participantes en el grupo de discusión afirmaron que el agarre de las zapatillas ZAP_1 y ZAP_3 era adecuado teniendo en cuenta los requerimientos del pádel, mientras que en el caso de las zapatillas ZAP_2 este agarre era deficiente. Desde el punto de vista de la amortiguación, indicaron que la zapatilla más dura era la ZAP_2 mientras que los modelos de ZAP_3 y ZAP_1 presentaban una amortiguación adecuada.

¹ Se ha omitido la marca y el modelo de las zapatillas por confidencialidad de los resultados.

5.4.2.2b. Evaluación de las propiedades de las zapatillas seleccionadas

Con el objetivo de validar que las diferencias entre las zapatillas indicadas por los deportistas eran reales desde un punto de vista objetivo, se llevó a cabo la evaluación del agarre y la capacidad de amortiguación de impactos de los tres modelos de zapatillas. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

Amortiguación

De acuerdo a lo señalado en el capítulo relativo a material y métodos (ver apartado 4.4.2.3b), se evaluaron dos propiedades relacionadas con la capacidad de amortiguación de impactos de las zapatillas: rigidez y ratio de energía absorbida. A continuación se muestran los resultados obtenidos.

Rigidez

La siguiente tabla muestra los resultados del análisis de estadísticos descriptivos de la rigidez obtenida para cada una de las zapatillas evaluadas (Tabla 5.79):

Tabla 5.79. Estadísticos descriptivos de la Rigidez medida en las zapatillas.

Zapatilla	Media	Desviación típica	N
ZAP_1	88383.56	796.07	15
ZAP_2	126429.72	1250.07	15
ZAP_3	88467.85	1600.51	15
Total	99830.86	17635.88	45

El análisis de la varianza (ANOVA) mostró que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre la rigidez de la suela obtenida para los diferentes modelos de zapatillas (Tabla 5.80):

5. Resultados

Tabla 5.80. Resultados del análisis de la varianza entre zapatillas de la Rigidez medida.

Pruebas de los efectos inter-sujetos						
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	Sig.	Eta al cuadrado parcial	Potencia observada ^b
Modelo corregido	1.516E10	2	7.580E9	0.00	0.995	1.000
Intersección	5.017E11	1	5.017E11	0.00	1.000	1.000
Zapatilla	1.516E10	2	7.580E9	0.00	0.995	1.000
Error	7.942E7	42	1689808.327			
Total	5.136E11	45				
Total corregida	1.524E10	41				

a. R cuadrado = 0.995 (R cuadrado corregida = 0.995)

b. Calculado con alfa = 0.05

La comparación por pares permite identificar entre qué modelos de zapatillas existen las diferencias significativas detectadas:

Tabla 5.81. Comparación por pares de la variable Rigidez.

(I)Zapatilla	(J)Zapatilla	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig. ^a	Intervalo de confianza al 95 % para la diferencia ^a	
					Límite inferior	Límite superior
ZAP_1	ZAP_2	-38046.16*	474.66	0.00	-39001.06	-37091.25
	ZAP_3	-83.62	444.01	0.85	-976.85	809.60
ZAP_2	ZAP_1	38046.16*	474.66	0.00	37091.25	39001.06
	ZAP_3	37962.53*	444.01	0.00	37069.30	38855.76
ZAP_3	ZAP_1	83.62	444.01	0.85	-809.60	976.85
	ZAP_2	-37962.53*	444.01	0.00	-38855.76	-37069.30

Basadas en las medias marginales estimadas.

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

a. Ajuste para comparaciones múltiples: Diferencia menos significativa (equivalente a la ausencia de ajuste).

La variable rigidez no genera diferencias significativas entre las zapatillas ZAP_1 y ZAP_3. Sin embargo, sí se encontraron diferencias significativas entre la rigidez medida en estos dos modelos y la obtenida para el modelo ZAP_2, que presentó una rigidez mayor. Por tanto, los modelos de zapatillas ZAP_1 y ZAP_3 presentan una rigidez menor que el modelo ZAP_2.

Ratio de energía absorbida (Ratio_Eabs)

La siguiente tabla muestra los estadísticos descriptivos del ratio de energía absorbida (Ratio_Eabs) obtenido para cada una de las zapatillas evaluadas (Tabla 5.82):

Tabla 5.82. Estadísticos descriptivos del ratio de energía absorbida medida en las zapatillas.

Zapatilla	Media	Desviación típica	N
ZAP_1	0.595	0.010	15
ZAP_2	0.545	0.019	15
ZAP_3	0.630	0.017	15
Total	0.594	0.038	45

El análisis de la varianza (ANOVA) mostró que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre el ratio de energía absorbida obtenido para las diferentes zapatillas (Tabla 5.83):

Tabla 5.83. Resultados del análisis de la varianza entre zapatillas del ratio de energía absorbida (Ratio_Eabs).

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	Sig.	Eta al cuadrado parcial	Potencia observada ^b
Modelo corregido	0.062 ^a	2	0.031	0.000	0.835	1.000
Intersección	17.105	1	17.105	0.000	0.999	1.000
Zapatilla	0.062	2	0.031	0.000	0.835	1.000
Error	0.012	42	0.000			
Total	17.730	45				
Total corregida	0.074	44				

a. R cuadrado = 0.835 (R cuadrado corregida = 0.828)

b. Calculado con alfa =0.05

La comparación por pares permite identificar entre qué modelos de zapatillas existen dichas diferencias significativas (Tabla 5.84):

Tabla 5.84. Comparación por pares de la variable ratio de energía absorbida (Ratio_Eabs).

(I)Zapatilla	(J)Zapatilla	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig. ^a	Intervalo de confianza al 95 % para la diferencia ^a	
					Límite inferior	Límite superior
ZAP_1	ZAP_2	-0.050*	0.006	0.000	-0.062	-0.038
	ZAP_3	-0.085*	0.005	0.000	-0.096	-0.074
ZAP_2	ZAP_1	0.050*	0.006	0.000	0.038	0.062
	ZAP_3	-0.034*	0.005	0.000	-0.045	-0.023
ZAP_3	ZAP_1	0.085*	0.005	0.000	0.074	0.096
	ZAP_2	0.034*	0.005	0.000	0.023	0.045

Basadas en las medias marginales estimadas.

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

a. Ajuste para comparaciones múltiples: Diferencia menos significativa (equivalente a la ausencia de ajuste).

La variable Ratio_Eabs genera diferencias significativas entre todos los modelos de zapatillas. Por tanto, se puede afirmar que el modelo de zapatilla ZAP_2 es el que presenta un mayor ratio de energía absorbida, seguido del modelo ZAP_3 y, por último, el ZAP_1.

Fricción

La fricción medida mediante ensayos mecánicos se determinó con el calzado colocado en posición frontal (para simular el gesto de inicio de carrera) y en posición perpendicular al movimiento de avance (para simular los desplazamientos laterales) (ver apartado 4.4.2.3b). Se han denominado fricción frontal y fricción lateral respectivamente.

Fricción frontal

La siguiente tabla muestra los resultados del análisis de estadísticos descriptivos del coeficiente de fricción estático frontal obtenido para cada una de las zapatillas evaluadas (Tabla 5.85):

Tabla 5.85. Estadísticos descriptivos de la variable Coeficiente_fricción_frontal.

Zapatilla	Media	Desviación típica	N
ZAP_1	0.673	0.025	9
ZAP_2	0.653	0.004	9
ZAP_3	0.687	0.011	9
Total	0.671	0.021	27

El análisis de la varianza (ANOVA) mostró que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre el coeficiente de fricción frontal obtenido para las distintas zapatillas (Tabla 5.86):

Tabla 5.86. Resultados del análisis de la varianza de la variable Coeficiente_fricción_frontal entre zapatillas.

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	Sig.	Eta al cuadrado parcial
Modelo corregido	0.005 ^a	2	0.002	0.001	0.434
Intersección	12.170	1	12.170	0.000	0.999
Zapatilla	0.005	2	0.002	0.001	0.434
Error	0.006	24	0.000		
Total	12.181	27			
Total corregida	0.011	26			

a. R cuadrado = 0.434 (R cuadrado corregida = 0.386)

La comparación por pares permite identificar entre qué modelos de zapatillas existen dichas diferencias estadísticamente significativas (Tabla 5.87):

Tabla 5.87. Comparación por pares de la variable Coeficiente_fricción_frontal.

(I)Zapatilla	(J)Zapatilla	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig. ^a	Intervalo de confianza al 95 % para la diferencia ^a	
					Límite inferior	Límite superior
ZAP_1	ZAP_2	0.019*	0.008	0.021	0.003	0.035
	ZAP_3	-0.014	0.008	0.083	-0.030	0.002
ZAP_2	ZAP_1	-0.019*	0.008	0.021	-0.035	-0.003
	ZAP_3	-0.033*	0.008	0.000	-0.049	-0.017
ZAP_3	ZAP_1	0.014	0.008	0.083	-0.002	0.030
	ZAP_2	0.033*	0.008	0.000	0.017	0.049

Basadas en las medias marginales estimadas.

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

a. Ajuste para comparaciones múltiples: Diferencia menos significativa (equivalente a la ausencia de ajuste).

La variable Coeficiente_fricción_frontal no genera diferencias estadísticamente significativas entre las zapatillas ZAP_1 y ZAP_3. Sin embargo, estas diferencias sí fueron significativas entre el coeficiente de fricción frontal medido en estos dos modelos y el obtenido al ensayar el modelo ZAP_2, que presentó un menor coeficiente de fricción.

Fricción lateral

La siguiente tabla muestra los resultados del análisis de estadísticos descriptivos del coeficiente de fricción lateral obtenido para cada una de las zapatillas evaluadas (Tabla 5.88):

Tabla 5.88. Estadísticos descriptivos de la variable Coeficiente_friccion_lateral.

Zapatilla	Media	Desviación típica	N
ZAP_1	0.746	0.031	9
ZAP_2	0.620	0.013	9
ZAP_3	0.714	0.015	9
Total	0.693	0.058	27

El análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias significativas entre los diferentes modelos de zapatillas en cuanto al coeficiente de fricción lateral se refiere (Tabla 5.89):

Tabla 5.89. Resultados del análisis de la varianza de la variable Coeficiente_fricción_lateral entre zapatillas.

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	Sig.	Eta al cuadrado parcial
Modelo corregido	0.077 ^a	2	0.038	0.000	0.877
Intersección	12.996	1	12.996	0.000	0.999
Zapatilla	0.077	2	0.038	0.000	0.877
Error	0.011	24	0.000		
Total	13.084	27			
Total corregida	0.088	26			

a. R cuadrado = 0.877 (R cuadrado corregida = 0.867)

Los resultados obtenidos de la comparación por pares muestran que, a diferencia del coeficiente de fricción frontal, en el caso de la fricción lateral existen diferencias significativas entre los tres modelos de zapatillas (Tabla 5.90):

Tabla 5.90. Comparación por pares de la variable Coeficiente_friccion_lateral.

(I)Zapatilla	(J)Zapatilla	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig. ^a	Intervalo de confianza al 95 % para la diferencia ^a	
					Límite inferior	Límite superior
ZAP_1	ZAP_2	0.126*	0.010	0.000	0.105	0.146
	ZAP_3	0.032*	0.010	0.004	0.012	0.053
ZAP_2	ZAP_1	-0.126*	0.010	0.000	-0.146	-0.105
	ZAP_3	-0.094*	0.010	0.000	-0.114	-0.073
ZAP_3	ZAP_1	-0.032*	0.010	0.004	-0.053	-0.012
	ZAP_2	0.094*	0.010	0.000	0.073	0.114

Basadas en las medias marginales estimadas.

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Según los resultados obtenidos, el modelo de zapatillas que ofrece menor agarre es el ZAP_2 seguido del ZAP_3 y del ZAP_1.

Por tanto, el modelo de zapatilla ZAP_2 es el que presenta menores valores de agarre tanto en la fricción frontal como lateral, lo que concuerda con lo expuesto por los expertos en el grupo de discusión.

5.4.2.3. Estudio de campo

5.4.2.3a. Descriptivos de los deportistas

Según el tamaño de muestra calculado en el apartado 4.4.2.2a, se precisaba un total de 13 deportistas para alcanzar un ajuste adecuado de los resultados. Sin embargo, por problemas relacionados con lesiones y agendas de los propios deportistas, no fue posible realizar el estudio con el total de los sujetos de ensayo necesarios. Finalmente fueron 10 los jugadores que realizaron la validación de los valores de referencia identificados, por lo que la validez de los resultados se contrastó mediante la potencia observada y el tamaño del efecto en cada uno de los análisis realizados.

Los 10 jugadores que participaron en el estudio poseían las siguientes características: 33.0 ± 8.2 años de edad, 78.4 ± 3.7 kg de peso y 177.7 ± 2.7 cm de altura. Su talla de pie era 43 - 44 y jugaban al pádel de forma habitual (7.5 ± 3.9 horas semanales de juego y 3.2 ± 1.2 partidos a la semana). La experiencia en la práctica de este deporte era de 8.3 ± 4.1 años y, de los 10 jugadores, 6 estaban federados y competían en la primera categoría de la Comunidad Valenciana.

5.4.2.3b. Evaluación del rendimiento

La siguiente tabla muestra los estadísticos descriptivos del análisis del tiempo invertido por los deportistas en realizar el circuito con cada una de las zapatillas (Tabla 5.91):

Tabla 5.91. Estadísticos descriptivos de la variable Tiempo (segundos).

Zapatilla	Media	Desviación típica	N
ZAP_2	9.676	0.705	18
ZAP_1	10.121	1.192	22
ZAP_3	9.755	1.005	20
Total	9.865	1.007	60

El análisis de varianza no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes modelos de zapatillas en cuanto al tiempo invertido en realizar el circuito descrito en el apartado 3.4.5. Sin embargo, sí se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tiempos invertidos por los diferentes deportistas en la realización del circuito (Tabla 5.92):

Tabla 5.92. Análisis de la varianza tiempo invertido en realizar el circuito.

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Origen		Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	Sig.	Potencia observada ^a
Intersección	Hipótesis	5725.597	1	5725.597	0.000	1.000
	Error	46.281	8.9	5.145 ^b		
Zapatilla	Hipótesis	0.379	2	0.189	0.584	0.127
	Error	5.820	17.0	0.341 ^c		
Deportista	Hipótesis	46.214	9	5.135	0.000	1.000
	Error	5.820	16.8	0.346 ^d		
Zapatilla * Deportista	Hipótesis	5.820	17	0.342	0.004	0.980
	Error	3.543	31	0.114 ^e		

a. Calculado con alfa = 0.05

b. 1.002 MS (Deportista) - 0.005 MS(Zapatilla * Sujeto) + 0.003 MS (Error)

c. 0.996 MS (Zapatilla * Deportista) + 0.004 MS (Error)

d. 1.015 MS (Zapatilla * Deportista) - 0.015 MS (Error)

e. MS (Error)

La interacción zapatilla*deportista sí genera diferencias significativas, si bien, como puede observarse en el siguiente gráfico, y de acuerdo a lo recogido en la tabla 5.90, estas diferencias son debidas a la variabilidad entre los deportistas y no a las zapatillas utilizadas (Figura 5.26).

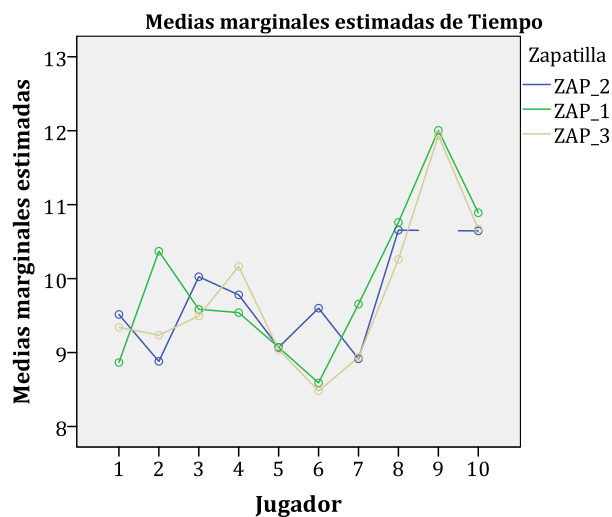


Figura 5.26. Medias marginales estimadas del tiempo (s) invertido en la realización del circuito por cada uno de los deportistas utilizando los diferentes modelos de zapatillas.

Los resultados obtenidos muestran que las diferentes zapatillas utilizadas en la realización de los ensayos no tienen efecto sobre el rendimiento de los deportistas. El tiempo invertido por los mismos en la realización del circuito varía entre jugadores, pero las diferencias apreciadas intrasujeto utilizando los diferentes modelos de zapatilla no son significativas.

5.4.2.3c. Valoración subjetiva

Los deportistas realizaron la valoración subjetiva de cada una de las propiedades tras la realización de las tres repeticiones del circuito con cada zapatilla. Por tanto, se cuenta con un total de 30 valoraciones de cada una de las propiedades (10 deportistas utilizando tres zapatillas diferentes).

Percepción fricción (o agarre) frontal

La siguiente tabla de contingencia muestra la valoración que los deportistas han realizado del agarre de las zapatillas al inicio de la carrera, siendo el valor 1 un nivel de cumplimiento muy bajo, 2 bajo, 3 medio, 4 alto y 5 muy alto (Tabla 5.93):

Tabla 5.93. Tabla de contingencia de la percepción de fricción frontal.

		Percepción de fricción frontal					Total
		1	2	3	4	5	
Zapatilla	ZAP_2	1	2	5	1	1	10
	ZAP_1	0	0	1	5	4	10
	ZAP_3	0	0	1	6	3	10
Total		1	2	7	12	8	30

De las 30 respuestas recopiladas se observa que 20 indican que los deportistas percibieron que el agarre frontal entre el calzado y el pavimento era bueno o muy bueno y 7 medio. Solamente 3 respuestas indicaron que el agarre era malo o muy malo y las tres corresponden al modelo de zapatilla ZAP_2.

Por otro lado, los resultados muestran que los deportistas percibieron un agarre más adecuado en las zapatillas ZAP_1 y ZAP_3 que en el modelo ZAP_2. En los dos primeros, 9 de 10 consideraron que el agarre frontal era bueno o muy bueno, mientras que en el caso de las ZAP_2 solamente 2 de 10 consideraron que era bueno o muy bueno. Además, ninguno de los deportistas indicó que el agarre de las zapatillas ZAP_3 y ZAP_1 era malo o muy malo, mientras que 3 de los deportistas dieron esta valoración a la interacción entre el pavimento y las zapatillas ZAP_2.

El análisis de varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis mostró que los deportistas detectaron diferencias significativas entre zapatillas (Tabla 5.94):

Tabla 5.94. Análisis de varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis de la percepción de fricción frontal.

Rangos			
	Zapatilla	N	Rango promedio
Percepción de fricción frontal	ZAP_2	10	8.40
	ZAP_1	10	19.55
	ZAP_3	10	18.55
	Total	30	

Estadísticos de contraste^{a,b}	
	Percepción de fricción frontal
Chi-cuadrado	10.852
gl	2
Sig. asintót.	0.004

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Zapatilla

El análisis estadístico de contraste muestra que existen diferencias significativas entre zapatillas ($p < 0.05$), pudiéndose diferenciar dos grupos: por un lado las ZAP_1 y las ZAP_3 (con un rango promedio más elevado) y por otro las ZAP_2. Estos resultados son coherentes con los obtenidos de la evaluación de la fricción frontal de las zapatillas en los que se obtuvo que las zapatillas ZAP_2 presentaban un coeficiente de fricción frontal significativamente menor ($p < 0.05$) que los otros dos modelos de zapatillas.

Con posterioridad a la valoración que los deportistas realizaron sobre la fricción frontal, se les preguntó si les gustaría que el agarre fuera menor, igual o mayor. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5.95. Tabla de contingencia de la preferencia de fricción frontal para cada uno de los modelos de zapatillas.

		¿Le gustaría menos, igual o más fricción frontal?			Total
		Menos	Igual	Más	
Zapatilla	ZAP_2	0	2	8	10
	ZAP_1	0	7	3	10
	ZAP_3	0	6	4	10
Total		0	15	15	30

El 50% de los deportistas participantes en el estudio indicaron que les gustaría contar con un mayor agarre frontal, mientras que al 50% les parecía adecuado. Al diferenciar entre zapatillas se observó que entre el 60% y el 70% de los deportistas indicaron que el agarre era adecuado utilizando las zapatillas ZAP_1 y ZAP_3, mientras que este porcentaje se reducía al 20% cuando eran preguntados sobre la interacción entre las zapatillas ZAP_2 y el pavimento.

Según los resultados mostrados, los deportistas percibían, en la mayoría de los casos, el agarre entre la pista y las zapatillas ZAP_1 y ZAP_3 como adecuado mientras que en el caso de las zapatillas ZAP_2 lo percibían deficiente.

Percepción de la facilidad de realización de cambios de ritmo rápidos

La facilidad de realización de cambios de ritmo de forma rápida se relaciona directamente con el agarre entre la superficie de juego y el calzado, principalmente con el agarre frontal (debido a que implica principalmente cambios de ritmo o de velocidad en carrera frontal).

La siguiente tabla de contingencia muestra la valoración que los deportistas realizaron con respecto a la facilidad con que realizan los cambios de ritmo utilizando los tres modelos de zapatilla (Tabla 5.96):

Tabla 5.96. Tabla de contingencia valoración de la facilidad de realización de cambios de ritmo con cada uno de los modelos de zapatillas.

		Facilidad de realización de cambios ritmo					Total
		1	2	3	4	5	
Zapatilla	ZAP_2	0	4	5	1	0	10
	ZAP_1	0	0	3	5	2	10
	ZAP_3	1	0	3	6	0	10
Total		1	4	11	12	2	30

Aproximadamente el 50% de las respuestas recabadas (14 de 30) indicaron que la facilidad de realizar cambios de ritmo en el pavimento seleccionado era buena o muy buena. Sin embargo, al analizar por modelo de calzado se observó que de las 5 respuestas que indicaban que no era fácil realizar cambios de ritmo sobre la pista, 4 correspondían a jugadores que habían realizado el circuito con las zapatillas ZAP_2. Este resultado es coherente con los resultados obtenidos en el caso de la percepción del agarre frontal y lateral, en los que, si bien en ambos casos el agarre era percibido como bueno o muy bueno, en los que se detectaba un agarre inadecuado procedían de respuestas correspondientes a las zapatillas ZAP_2. Este agarre inadecuado puede conllevar una menor facilidad para realizar cambios de ritmo.

El análisis de varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis mostró que los deportistas detectaron diferencias significativas en la facilidad de realizar cambios de ritmo utilizando las diferentes zapatillas (Tabla 5.97):

Tabla 5.97. Análisis de varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis de la facilidad de realización de cambios de ritmo.

Rangos			
	Zapatilla	N	Rango promedio
Facilidad de realización de cambios de ritmo	ZAP_2	10	9.15
	ZAP_1	10	20.45
	ZAP_3	10	16.90
	Total	30	

Estadísticos de contraste^{a,b}

	Facilidad de realización de cambios de ritmo
Chi-cuadrado	9.737
gl	2
Sig. asintót.	0.008

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Zapatilla

Los deportistas percibieron que el modelo ZAP_1 era el que les permitía realizar con mayor facilidad los cambios de ritmo, seguido del modelo ZAP_3 y por último del ZAP_2.

Percepción de la fricción (o agarre) lateral

El análisis de varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis mostró que los deportistas detectaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en la respuesta percibida en las paradas laterales utilizando las diferentes zapatillas seleccionadas para el estudio de campo, indicando que el modelo ZAP_2 presentaba un menor agarre lateral que los otros dos modelos (Tabla 5.98):

Tabla 5.98. Análisis de varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis de la percepción de fricción lateral para cada uno de los modelos de zapatillas.

Rangos

	Zapatilla	N	Rango promedio
Percepción de fricción lateral	ZAP_2	10	8.75
	ZAP_1	10	20.50
	ZAP_3	10	17.25
	Total	30	

Estadísticos de contraste^{a,b}

	Percepción de fricción lateral
Chi-cuadrado	10.451
gl	2
Sig. asintót.	0.005

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Zapatilla

La siguiente tabla de contingencia muestra la valoración que los deportistas realizaron del agarre de las zapatillas durante la ejecución de las paradas laterales (Tabla 5.99):

Tabla 5.99. Tabla de contingencia valoración de la percepción de fricción lateral con cada uno de los modelos de zapatillas.

		Percepción de fricción lateral					Total
		1	2	3	4	5	
Zapatilla	ZAP_2	1	4	4	1	0	10
	ZAP_1	0	1	2	4	3	10
	ZAP_3	0	0	5	5	0	10
Total		1	5	11	10	3	30

Se observó que, de las 30 respuestas, 13 indicaron que el agarre lateral era bueno o muy bueno, siendo 6 las respuestas correspondientes a un agarre malo o muy malo. En ningún caso esta valoración (malo/muy malo) correspondió al modelo de zapatilla ZAP_3, mientras que durante el uso de las zapatillas ZAP_2 esta respuesta se repitió en 5 de los 10 deportistas. En el caso de las zapatillas ZAP_1, pese a que uno de los deportistas indicó que el agarre lateral era malo, en la mayoría de los casos se indicó que era bueno o muy bueno. Por tanto, al igual que ocurría en el caso del agarre frontal, el agarre lateral de la interacción entre el calzado y el pavimento era considerado más adecuado por los deportistas cuando utilizaban las zapatillas ZAP_1 o ZAP_3 que cuando usaban las ZAP_2.

Estos resultados son coherentes con los obtenidos al evaluar la fricción lateral de las zapatillas, en los que se obtuvo que las zapatillas ZAP_2 presentaban un coeficiente de fricción lateral significativamente menor ($p < 0.05$) que los otros dos modelos de zapatillas.

La siguiente tabla muestra las respuestas ofrecidas por los deportistas cuando se les preguntó si les gustaría un agarre lateral mayor, menor o igual (Tabla 5.100):

Tabla 5.100. Tabla de contingencia de la preferencia de fricción lateral para cada uno de los modelos de zapatillas.

		¿Le gustaría menos, igual o más fricción lateral?			Total
		Menos	Igual	Más	
Zapatilla	ZAP_2	0	1	9	10
	ZAP_1	0	6	4	10
	ZAP_3	0	5	5	10
Total		0	12	18	30

Se observó que 18 de las 30 respuestas de los deportistas (el 60%) indicaron que les gustaría que el agarre lateral entre el pavimento y las zapatillas fuera mayor. Este porcentaje fue más elevado cuando se analizaron las respuestas de los deportistas utilizando las zapatillas ZAP_2, siendo el 90% el porcentaje de jugadores que preferían que el agarre lateral fuera mayor cuando utilizaban este modelo de zapatilla. Cuando los deportistas utilizaban los otros dos modelos de zapatillas (ZAP_3 y ZAP_1) aproximadamente el 50% indicaron que el agarre era adecuado y el 50% que les gustaría que fuera mayor.

Percepción de la amortiguación

Finalmente, con el objetivo de validar los valores de referencia identificados para la variable reducción de fuerzas del pavimento, se les preguntó a los deportistas sobre su percepción de la amortiguación del sistema pavimento-calzado utilizando los diferentes modelos de zapatillas.

El análisis de varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis mostró que los deportistas detectaron diferencias significativas en la capacidad de amortiguación de impactos de cada modelo de zapatillas percibida por los deportistas (Tabla 5.101):

Tabla 5.101. Resultados del análisis de varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis de la percepción de la amortiguación.

Rangos			
	Zapatilla	N	Rango promedio
Percepción de amortiguación	ZAP_2	10	8.25
	ZAP_1	10	21.00
	ZAP_3	10	17.25
	Total	30	

Estadísticos de contraste^{a,b}	
	Percepción de amortiguación
Chi-cuadrado	12.075
gl	2
Sig. asintót.	0.002

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Zapatilla

La siguiente tabla de contingencia muestra la valoración que los deportistas realizaron de la capacidad de amortiguación de impactos percibida (Tabla 5.102):

Tabla 5.102. Tabla de contingencia de la percepción de la amortiguación.

		Percepción de amortiguación					Total
		1	2	3	4	5	
Zapatilla	ZAP_2	0	3	7	0	0	10
	ZAP_1	0	1	0	6	3	10
	ZAP_3	0	1	3	4	2	10
Total		0	5	10	10	5	30

Según los resultados obtenidos, el 50% de las respuestas indicaron que la amortiguación del sistema calzado-pavimento era buena o muy buena y el 33% que el nivel de satisfacción era medio. De las 30 respuestas solamente 5 indicaron que la amortiguación del sistema era mala (en ningún caso muy mala), de los cuales 3 correspondían a la zapatilla ZAP_2.

Los resultados obtenidos muestran que los deportistas percibieron una mayor capacidad de amortiguación de impactos durante el ensayo con las zapatillas ZAP_1, siendo el modelo ZAP_2 el que presentaba una menor capacidad de impactos según la opinión de los deportistas.

Las respuestas que los deportistas dieron a la pregunta de si les gustaría una amortiguación mayor, menor o igual fueron las siguientes (Tabla 5.103):

Tabla 5.103. Tabla de contingencia de la preferencia de amortiguación para cada uno de los modelos de zapatilla.

		¿Le gustaría menos, igual o más capacidad de amortiguación?			Total
		Menos	Igual	Más	
Zapatilla	ZAP_2	0	0	10	10
	ZAP_1	0	9	1	10
	ZAP_3	0	6	4	10
Total		0	15	15	30

El 50% de las respuestas de los deportistas indicaron que les parecía adecuada la amortiguación ofrecida por el sistema calzado-pavimento mientras que el 50% indicaron que les gustaría que esta amortiguación fuera mayor.

Al analizar con detalle las valoraciones de los deportistas dependiendo del calzado utilizado, se observa que el 100% de los jugadores respondieron que preferirían mayor amortiguación al utilizar las zapatillas ZAP_2, mientras que al utilizar las zapatillas ZAP_1 el 90% indicaron que la amortiguación era adecuada.

Los resultados obtenidos del estudio subjetivo son acordes a los valores de rigidez. Los deportistas percibieron una menor amortiguación e indicaron que preferirían que la pista fuera menos dura cuando realizaron el circuito con el modelo de zapatillas que presentó valores mayores de rigidez.

Percepción de rendimiento

El análisis de varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis mostró la existencia de diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en cuanto al rendimiento percibido por los deportistas durante la realización del circuito utilizando los diferentes modelos de zapatilla (Tabla 5.104):

Tabla 5.104. Análisis de varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis de la percepción de rendimiento.

Rangos			
	Zapatilla	N	Rango promedio
Percepción de rendimiento	ZAP_2	10	7.80
	ZAP_1	10	21.90
	ZAP_3	10	16.80
	Total	30	

Estadísticos de contraste^{a,b}

	Percepción de rendimiento
Chi-cuadrado	14.668
gl	2
Sig. asintót.	0.001

- a. Prueba de Kruskal-Wallis
- b. Variable de agrupación: Zapatilla

La siguiente tabla de contingencia muestra el rendimiento percibido por los deportistas utilizando los diferentes modelos de zapatilla durante la ejecución del circuito (Tabla 5.105):

Tabla 5.105. Tabla de contingencia valoración del rendimiento percibido.

		Percepción de rendimiento					Total
		1	2	3	4	5	
Zapatilla	ZAP_2	0	4	6	0	0	10
	ZAP_1	0	0	2	5	3	10
	ZAP_3	0	1	3	6	0	10
Total		0	5	11	11	3	30

De las 30 respuestas obtenidas de los deportistas, 14 (aproximadamente el 50%) indicaron que el rendimiento percibido era bueno o muy bueno. Un total de 11 respuestas valoraron el rendimiento percibido como medio y 5 lo percibieron como malo o muy malo.

Del mismo modo que en el caso de la facilidad para la realización cambios de ritmo, de los 5 casos en los que los deportistas percibieron un rendimiento inadecuado, 4 correspondían a la realización del circuito con las zapatillas ZAP_2. Teniendo en cuenta que el rendimiento está muy relacionado con el agarre entre el calzado y el pavimento (tanto frontal como lateral) y con la facilidad de realizar cambios de ritmo, los resultados son coherentes con los obtenidos hasta el momento en relación con las otras cuestiones sobre las que se preguntó a los deportistas.

Los deportistas percibieron que el modelo ZAP_1 era el que les permitía realizar el circuito con un mayor rendimiento, seguido del modelo ZAP_3 y por último del ZAP_2.

Percepción de seguridad

Finalmente, dado que el objetivo de la identificación de los valores de referencia es garantizar tanto el rendimiento como la seguridad de los deportistas, se les preguntó sobre su percepción de seguridad al realizar los diferentes movimientos utilizando zapatillas con propiedades diferentes.

El análisis de varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis mostró que existían diferencias significativas en cuanto a la seguridad percibida durante la realización del circuito utilizando los diferentes modelos de zapatillas (Tabla 5.106):

Tabla 5.106. Análisis de varianza de tipo no paramétrico Kruskal-Wallis de la percepción de seguridad.

Rangos			
	Zapatilla	N	Rango promedio
Percepción de seguridad	ZAP_2	10	10.40
	ZAP_1	10	21.20
	ZAP_3	10	14.90
	Total	30	

Estadísticos de contraste^{a,b}

	Percepción de seguridad
Chi-cuadrado	8.167
gl	2
Sig. asintót.	0.017

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Zapatilla

La siguiente tabla de contingencia muestra la seguridad percibida por los deportistas durante la realización del circuito utilizando los diferentes modelos de zapatilla (Tabla 5.107):

Tabla 5.107. Tabla de contingencia de la percepción de seguridad con los diferentes modelos de zapatillas.

		Percepción de seguridad					Total
		1	2	3	4	5	
Zapatilla	ZAP_2	1	4	4	1	0	10
	ZAP_1	0	1	2	4	3	10
	ZAP_3	0	2	4	3	1	10
Total		1	7	10	8	4	30

El 40% de las respuestas (12 de 30) indicaron que durante la realización del circuito sobre la pista se sentían seguros o muy seguros, mientras que el 33% señaló que percibía una sensación de seguridad media.

El 26% de las respuestas (8 de 30) afirmaban que la seguridad percibida era mala o muy mala, de las que 5 respuestas correspondían a un mismo modelo de zapatilla (ZAP_2).

Las zapatillas que ofrecieron mayor sensación de seguridad a los deportistas fueron las ZAP_1 seguidas de las ZAP_3. Las que ofrecieron menor sensación de seguridad o mayor sensación de probabilidad de sufrir una lesión fueron las ZAP_2. Dado que este modelo de zapatilla es el peor valorado en los aspectos relacionados con la seguridad (fricción lateral y amortiguación), es coherente que en la percepción de la seguridad aparezca como el peor valorado.

5.4.2.4. Análisis de correlaciones entre variables objetivas y subjetivas

Con el objetivo de comprobar si existe relación entre las variables medidas sobre el calzado y la percepción de los deportistas, se llevó a cabo un análisis de correlaciones entre variables objetivas y subjetivas.

5.4.2.4a. Variables relacionadas con la amortiguación de impactos

En primer lugar se realizó el análisis de correlaciones de Pearson entre las variables medidas sobre los diferentes modelos de zapatillas (Rigidez y Ratio_Eabs) y los rangos de Kruskal-Wallis de las variables subjetivas percepción de amortiguación, rendimiento y seguridad. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla (Tabla 5.108):

Tabla 5.108. Correlaciones bivariadas entre las variables mecánicas medidas sobre las zapatillas (Rigidez y Ratio_Eabs) y la percepción de los deportistas respecto a la amortiguación, el rendimiento y la seguridad (rango Kruskal-Wallis).

		Rigidez	Ratio_Eabs
Rango K-W percepción amortiguación	Correlación de Pearson	-0.959	0.946
	Sig. (bilateral)	0.184	0.210
	N	3	3
Rango K-W percepción rendimiento	Correlación de Pearson	-0.935	0.968
	Sig. (bilateral)	0.231	0.162
	N	3	3
Rango K-W percepción seguridad	Correlación de Pearson	-0.815	1
	Sig. (bilateral)	0.393	
	N	3	3

*. La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).

Se observa que no existe una correlación subjetiva entre las variables objetivas y subjetivas relacionadas con la amortiguación de impactos. Tampoco existe una correlación significativas entre las variables medidas y la el rendimiento y la seguridad percibidos. Al analizar la correlación entre la percepción de amortiguación, rendimiento y seguridad se obtienen los siguientes resultados (Tabla 5.109):

5. Resultados

Tabla 5.109. Correlaciones bivariadas entre la percepción de amortiguación, rendimiento y seguridad.

			Percepción rendimiento	Percepción seguridad
Rho de Spearman	Percepción amortiguación	Coefficiente de correlación	0.641**	0.529**
		Sig. (bilateral)	0.000	0.003
		N	30	30
	Percepción rendimiento	Coefficiente de correlación	1.000	0.825**
		Sig. (bilateral)	.	0.000
		N	30	30
Percepción seguridad	Coefficiente de correlación	0.825**	1.000	
	Sig. (bilateral)	0.000	.	
	N	30	30	

** . La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

Se observa una correlación significativa entre la percepción de amortiguación y de rendimiento y seguridad; cuando la percepción de amortiguación es mayor, la percepción de rendimiento y seguridad aumentan. Además, se ha obtenido una correlación significativa entre la percepción de rendimiento y la percepción de seguridad de los deportistas; de esta forma, cuando los deportistas perciben un mayor rendimiento, perciben también una mayor seguridad durante la realización de los movimientos en el circuito.

5.4.2.4b. Variables relacionadas con la fricción (agarre)

Finalmente se realizó el análisis de correlaciones de Pearson entre las variables medidas sobre los diferentes modelos de zapatillas (Coeficiente_fricción_frontal y Coeficiente_fricción_lateral) y los rangos de Kruskal-Wallis de las variables subjetivas percepción de la fricción frontal y lateral, la facilidad para realizar cambios de ritmo, el rendimiento y la seguridad (Tabla 5.110):

Tabla 5.110. Correlaciones bivariadas entre las variables mecánicas medidas sobre las zapatillas (Coeficiente_fricción_frontal y Coeficiente_fricción_lateral) y la percepción de los deportistas respecto a la fricción frontal y lateral, la facilidad para realizar cambios de ritmo, el rendimiento y la seguridad (rango Kruskal-Wallis).

		Coeficiente fric_frontal	Coeficiente fric_lateral
Rango K-W percepción fricción frontal	Correlación de Pearson	0.876	0.986
	Sig. (bilateral)	0.320	0.105
	N	3	3
Rango K-W percepción fricción lateral	Correlación de Pearson	0.769	1.000*
	Sig. (bilateral)	0.441	0.015
	N	3	3
Rango K-W percepción facilidad cambios ritmo	Correlación de Pearson	0.742	0.998*
	Sig. (bilateral)	0.467	0.042
	N	3	3
Rango K-W percepción rendimiento	Correlación de Pearson	0.706	0.993
	Sig. (bilateral)	0.501	0.075
	N	3	3
Rango K-W percepción seguridad	Correlación de Pearson	0.505	0.931
	Sig. (bilateral)	0.663	0.237
	N	3	3

*. La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).

Se observa una elevada correlación entre el coeficiente de fricción lateral y la percepción de fricción lateral de los deportistas. También presenta una correlación significativa esta variable medida con la facilidad percibida por los deportistas para realizar cambios de ritmo.

No se ha observado correlación entre el coeficiente de fricción frontal medido y ninguna de las variables subjetivas analizadas.

Al analizar la correlación entre la percepción de fricción lateral, fricción frontal, facilidad para realizar cambios de ritmo, rendimiento y seguridad se obtienen los siguientes resultados (Tabla 5.111):

5. Resultados

Tabla 5.111. Correlaciones bivariadas entre la percepción de fricción frontal, lateral, facilidad para realizar cambios de ritmo, rendimiento y seguridad.

			Percepción facilidad cambios ritmo	Percepción seguridad	Percepción rendimiento
Rho de Spear- man	Percepción fricción frontal	Coefficiente de correlación Sig. (bilateral) N	0.534** 0.002 30	0.539** 0.002 30	0.685** 0.000 30
	Percepción fricción lateral	Coefficiente de correlación Sig. (bilateral) N	0.704** 0.000 30	0.804** 0.000 30	0.813** 0.000 30
	Percepción facilidad cambios ritmo	Coefficiente de correlación Sig. (bilateral) N	1.000 0.000 30	0.724** 0.000 30	0.745** 0.000 30
	Percepción seguridad	Coefficiente de correlación Sig. (bilateral) N	0.724** 0.000 30	1.000 0.000 30	0.825** 0.000 30
	Percepción rendimien- to	Coefficiente de correlación Sig. (bilateral) N	0.745** 0.000 30	0.825** 0.000 30	1.000 0.000 30

** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

Se observa una correlación significativa entre la percepción frontal, la facilidad para realizar cambios de ritmo, el rendimiento y la seguridad. Del mismo modo, la percepción de fricción lateral presenta correlación significativa con las mismas tres variables subjetivas.

Por otro lado, se observa una correlación significativa entre la percepción de facilidad para realizar cambios de ritmo y la percepción de rendimiento y seguridad.

5.4.3. Análisis de los valores de referencia

A partir de los resultados obtenidos en las diferentes etapas de la validación (tras la disputa de un partido y mediante circuito controlado) se llevó a cabo el análisis de los valores de referencia identificados en la fase 2, que se muestran en la siguiente tabla (Tabla 5.112):

Tabla 5.112. Valores de referencia identificados

	Valores de referencia
RF (%)	15 - 21
Fricción	95 - 110
H (%)	94 - 97

5.4.3.1. Amortiguación de impactos

La validación de esta propiedad tras la disputa de un partido se realizó sobre dos pistas: D_1, que contaba con una reducción de fuerzas de 17%, y E_1, cuya capacidad de reducción de fuerzas era de 6%. La mayoría de los deportistas entrevistados en la pista D_1 (50 de 55) indicaron que la dureza de la pista era adecuada (los 5 restantes indicaron que la pista era dura). Sin embargo, en el caso de la pista E_1 todos los deportistas indicaron que la consideraban una pista dura o muy dura. Al ser encuestados sobre su preferencia, el 76% de los deportistas indicó en relación con la pista D_1 que la dureza era perfecta, mientras que sobre la pista E_1 el 87% de los jugadores opinó que preferiría que fuera menos dura.

La validación mediante circuito controlado se llevó a cabo sobre la pista D_1, cuyas propiedades se encontraban dentro de los valores de referencia identificados. En este caso, el 83% de las respuestas de los deportistas valoraron el conjunto calzado-pavimento como medio, bueno o muy bueno. Un total de 5 respuestas (17%) valoraron la amortiguación como mala, correspondiendo 3 de las respuestas al modelo de zapatilla ZAP_2 (que no recibió ninguna valoración como buena o muy buena). El resto de respuestas que valoraron el conjunto como malo correspondían una a cada uno de los otros dos modelos de zapatillas. En ninguno de los casos los deportistas valoraron la amortiguación del conjunto calzado-pavimento como muy mala.

En cuanto a las preferencias, el 50% de las valoraciones (15 respuestas) indicaban que les parecía adecuada la amortiguación, mientras que el otro 50% opinó que preferiría mayor amortiguación. De estas 15 respuestas, 10 correspondían al modelo de zapatilla ZAP_2, lo que indica que el 100% de los depor-

tistas señaló que preferiría mayor amortiguación tras realizar los ensayos con este modelo de zapatilla. El 90% y el 60% de los deportistas respondieron que les parecía adecuada la amortiguación al realizar el circuito con las zapatillas ZAP_1 y ZAP_3 respectivamente.

Estos resultados se relacionan con los obtenidos de la evaluación mecánica de las propiedades de las zapatillas, ya que los deportistas valoraron como más dura la interacción entre el calzado y el pavimento tras la realización del circuito con el modelo que presentó una mayor rigidez (ZAP_2). Además, se trata de las zapatillas que fueron identificadas como las menos adecuadas para la práctica del pádel durante el grupo de discusión.

Por tanto, a partir de los resultados obtenidos de la validación se puede decir que el rango de reducción de fuerzas fijado entre 15 y 21% es adecuado.

5.4.3.2. Fricción

La validación de esta propiedad tras la disputa de un partido se realizó sobre dos pistas: D_1, que contaba con una fricción de 98, y E_1, cuya fricción tenía un valor de 80. La mayoría de los deportistas entrevistados en ambas pistas indicaron que la pista no resbalaba ni mucho ni poco y, en relación con la preferencia, indicaron que la fricción era perfecta.

Dado que en la fase 2 de la tesis se identificó que 75 era valorado por los deportistas como fricción deficiente y 95 como adecuada (ver apartado 4.3.3.2), a partir de los resultados de la validación tras jugar el partido se fijó el valor de 80 como valor de referencia mínimo para la variable fricción.

La validación mediante circuito controlado se llevó a cabo sobre la pista D_1, cuyas propiedades se encontraban dentro de los valores de referencia identificados. En este caso, en relación con la fricción frontal, el 90% de las respuestas de los deportistas indicaron que es media, buena o muy buena. El 10% que opinó que era mala o muy mala fue tras realizar el ensayo con el modelo de zapatillas ZAP_2 y el 80% indicaron, tras realizar el circuito con este modelo de zapatilla, que preferirían mayor agarre. Esto fue indicado por el 30% y el 40% de los deportistas que usaron los modelos ZAP_1 y ZAP_3 respectivamente.

En la misma línea y teniendo en cuenta que la facilidad en la realización de los cambios de ritmo se relaciona con la fricción frontal, el 83% de las respuestas ofrecidas por los deportistas indicaron que ésta es media, buena o muy buena. El 17% restante, que opinó que la facilidad para realizar cambios de ritmo era mala o muy mala, correspondía fundamentalmente a las respuestas dadas por los deportistas tras utilizar el modelo de zapatilla ZAP_2 (4 de 5 respuestas).

Con respecto al agarre lateral, el 80% de las respuestas de los deportistas indicaron que el agarre era medio, bueno o muy bueno. Del 20% que indicaron que el agarre era malo o muy malo, correspondiente a 6 respuestas, 5 procedían de los ensayos realizados con el modelo de zapatilla ZAP_2. Al preguntarles sobre su preferencia, 9 de los 10 deportistas indicaron, tras realizar el circuito con este calzado, que preferirían un mayor agarre lateral. Con los otros dos modelos, aproximadamente el 50% de los deportistas refirieron preferir mayor agarre lateral con ambos.

Estos resultados se pueden relacionar con los ensayos mecánicos realizados sobre los diferentes modelos de zapatillas en los que se observó que el modelo ZAP_2 presentaba un menor coeficiente de fricción tanto lateral como frontal.

Con los resultados obtenidos se considera que el valor de fricción de la pista (98) es adecuado para la práctica del pádel. Dado que en la validación tras la disputa de un partido se ha identificado 80 como valor de fricción adecuado, a partir del proceso de validación se fijan los valores de referencia de la fricción para pavimentos de césped artificial para pádel entre 80 y 110.

5.4.3.3. Bote vertical de pelota

La validación de esta propiedad se realizó únicamente tras la disputa de partidos. Los valores que presentaron las dos pistas seleccionadas fueron 94% en el caso de la pista D_1 y 99% en la E_1.

En el caso de la pista D_1 hubo deportistas que indicaron que preferirían que la pelota botara más, aunque la mayoría (80%) indicó que el bote de la pelota era perfecto. En el caso de la pista E_1 la mayoría de los deportistas (58.1%) indicó que preferiría que la pelota botara menos, aunque un número considerable de jugadores (23 de 55) señaló que el bote de la pelota era adecuado.

Por tanto, a partir de los resultados de la validación se puede considerar que los valores de referencia identificados durante la fase 2 son adecuados de acuerdo a la validación llevada a cabo.

5.4.3.4. Rendimiento

La valoración del rendimiento percibido se realizó en ambas etapas del proceso de validación: tras la disputa de partidos y mediante circuito controlado.

Durante la validación tras la celebración de partidos, la mayoría de los deportistas entrevistados en la pista D_1 (65%) indicó que el rendimiento percibido era bueno. El 31% opinó que no era "ni buena ni mala" y el resto (4%) señaló

que el rendimiento era malo. En el caso de la pista E_1 el 40% de los jugadores indicó que el rendimiento percibido era bueno, mientras que el 45% afirmó que no era “ni bueno ni malo”. El 15% restante indicó que el rendimiento percibido era malo.

A partir de los resultados obtenidos puede afirmarse que, si bien se observó un mayor número de deportistas que indicaron que el rendimiento de la pista D_1 era bueno, el rendimiento de la pista E_1 fue también adecuado ya que la mayoría de los jugadores (90%) opinó que era bueno o “ni bueno ni malo”.

En el caso de la validación mediante circuito controlado, el 83% de las respuestas de los deportistas señaló que el rendimiento percibido era medio, bueno o muy bueno; 5 respuestas de 30 indicaron que el rendimiento percibido era malo, correspondiendo 4 de estas respuestas al modelo de calzado ZAP_2 (y la otra respuesta al modelo ZAP_3).

5.4.3.5. Seguridad

La valoración de la seguridad percibida se llevó a cabo en ambas etapas del proceso de validación.

Los resultados mostrados en la etapa de validación tras disputar un partido señalaron que un 56% de los deportistas entrevistados en la pista D_1 indicó que su percepción de seguridad era buena, mientras que el resto (44%) opinó que dicha percepción no era “ni buena ni mala”. Ninguno de los deportistas entrevistado indicó que la percepción de seguridad era mala.

Sin embargo, en el caso de la pista E_1, un 42% de los deportistas indicó que la seguridad percibida era mala, mientras que solamente un 13% opinó que era buena. El resto de deportistas (45%) señaló que la seguridad percibida no era ni buena ni mala. Por tanto, la percepción de seguridad de los deportistas era mayor en la pista D_1 que en la pista E_1.

Durante la validación mediante circuito controlado, el 73% de las respuestas de los deportistas valoraron la seguridad percibida como media, buena o muy buena. El 27% restante (8 respuestas) correspondían principalmente al modelo ZAP_2, con 4 valoraciones como mala y 1 como muy mala. Los otros dos modelos contaron con una valoración como mala en el caso del modelo ZAP_1 y dos el ZAP_3, pero en ninguno de los dos casos recibieron una valoración como muy mala.

Estos resultados se relacionan con la percepción de la fricción, que recibe peores valoraciones en el caso del modelo de calzado ZAP_2, ya que deficiencias

en la fricción pueden provocar resbalones que sean percibidos como falta de seguridad en la realización de los diferentes movimientos.

5.4.3.6. Valores de referencia tras la validación

Tras el análisis de los resultados obtenidos en la fase de validación, los valores de referencia identificados como adecuados para la práctica del pádel son los mostrados en la siguiente tabla (Tabla 5.113):

Tabla 5.113. Valores de referencia identificados tras la validación.

	Valores de referencia
RF (%)	15 - 21
Fricción	80 - 110
H (%)	94 - 97

5.5. Fase 4. Desarrollo de una propuesta de norma técnica

5.5.1. Función técnica

Como se ha especificado en el capítulo relativo a material y métodos (ver apartado 4.5.1), tanto los ensayos a realizar como los requisitos de aceptación y rechazo para la evaluación de la función técnica de los pavimentos de césped artificial para pádel se han basado en la norma UNE-EN 15330-1, que regula las características de este tipo de pavimentos para todos los deportes.

Los requisitos de la función técnica son coincidentes en la mayoría de los casos. Dada la similitud en la tipología de césped utilizado para tenis y para pádel y, a priori, entre ambos deportes, los rangos fijados para cada una de las propiedades evaluadas para el caso del pádel son idénticos a los existentes en el tenis.

5.5.1.1. Tracción de la alfombra de hierba artificial

La fuerza máxima media que debe resistir debe ser superior a 15 N/mm y la diferencia entre los resultados obtenidos sobre las muestras tomadas en el sentido de fabricación y en sentido perpendicular no debe ser superior al 30% del valor más alto.

5.5.1.2. Resistencia a tracción de la fibra

La resistencia mínima a la tracción de la fibra debe ser superior a 30 N en el caso de que sea fibrilada y superior a 8 N en el caso de que se trate de monofilamentos (que deben someterse a ensayo como fibras separadas).

5.5.1.3. Resistencia al envejecimiento artificial

Tras someter la fibra a envejecimiento artificial conforme a la norma EN 14836, se debe comprobar que:

- La variación de la resistencia a tracción de la fibra envejecida con respecto a la original no sea superior al 50%.
- La solidez del color de la fibra envejecida con respecto a la original debe ser igual o superior al nivel 3 de la escala de grises.

5.5.1.4. Resistencia de las juntas

La resistencia de la junta antes del envejecimiento en baño de agua caliente debe ser igual o superior a 60 N/100 mm. Tras el envejecimiento debe ser al menos el 75% del valor obtenido antes del envejecimiento e igual o superior al valor mínimo requerido para las juntas sin envejecer.

5.5.1.5. Resistencia al arranque de la fibra

La fuerza necesaria para arrancar la fibra de la moqueta debe ser igual o superior a 30 N. Tras someter la moqueta a envejecimiento en agua caliente, el valor de la fuerza de arranque debe ser al menos el 75% del valor obtenido antes del envejecimiento e igual o superior a 30 N.

5.5.1.6. Permeabilidad

El caudal de infiltración vertical del agua de las superficies diseñadas para exterior debe ser igual o superior a 500 mm/h. Sin embargo, dado que este tipo de instalaciones son *indoor* en muchas ocasiones, este requisito no es necesario para el césped artificial destinado a las mismas.

5.5.2. Función deportiva

De acuerdo a lo expuesto a lo largo de esta tesis doctoral, las propiedades a evaluar en una superficie destinada a la práctica del pádel son: reducción de fuerzas, fricción y bote vertical de pelota. Como se muestra en la tabla 5.113,

dichos valores deben encontrarse entre 15-21%, 80-110 y 94-97% respectivamente.

5.5.3. Anexos

5.5.3.1. Zonas a evaluar en las pistas de pádel

Este anexo muestra un esquema de la pista en el que se especifica las zonas que deben evaluarse dentro de la pista (ver Anexo V) en función del uso que se haga de la superficie y como se define en el protocolo descrito en el apartado 3.3.1.2a.

5.5.3.2. Identificación de producto

Los ensayos que deben efectuarse para comprobar que un césped coincide con el definido en la ficha técnica de descripción del producto de césped artificial son los siguientes:

- Masa por unidad de superficie.
- Penachos por unidad de área.
- Longitud de la fibra.
- Fuerza de arranque de la fibra.
- Masa por unidad de superficie de la capa elástica (en caso de contar con este elemento).
- Resistencia a tracción de la capa elástica (en caso de contar con este elemento).
- Espesor de la capa elástica (en caso de contar con este elemento).
- Granulometría de la arena.
- Forma de las partículas de arena.
- Densidad aparente de la arena.
- Grado de medida y puntada.
- Identificación de la fibra por DSC.

5.5.3.3. Recomendaciones de mantenimiento

Las recomendaciones sobre mantenimiento incluyen las tareas a llevar a cabo tanto por personal de la instalación como por empresas especializadas para alargar al máximo el tiempo de vida de las pistas de pádel de césped artificial en condiciones adecuadas para la práctica de este deporte.

5.5.4. Activación del proceso de desarrollo de la norma

A partir de los resultados obtenidos en esta tesis doctoral y los aspectos relativos a la función técnica y los anexos expuestos en los apartados 5.5.1 y 5.5.3, se elaboró el primer borrador de la propuesta de norma (Anexo V).

Una vez elaborado dicho borrador, se activó el proceso de desarrollo del documento definitivo sometiéndolo a revisión por parte de la presidencia y los vocales del Subcomité correspondiente del Comité Técnico de Normalización competente en este ámbito (SC3 del CTN 147).

5.6. Situación de las pistas evaluadas de acuerdo a los valores de referencia identificados

Según estos valores, las pistas objeto de este estudio, comparadas con los valores de referencia identificados para cada una de las variables y con la opinión de los deportistas, quedaría como se muestra a continuación. En la columna correspondiente a los valores de referencia se indica con una X aquellas pistas cuyos resultados estarían fuera del rango de los valores de referencia identificados y con un OK aquellos que estarían dentro de dicho rango. Las dos columnas correspondientes a la percepción muestran la moda de los resultados obtenidos de la valoración subjetiva de los deportistas:

Tabla 5.114. Comparación de la RF medida con los valores de referencia identificados y la moda obtenida de los resultados de la evaluación de la percepción de los deportistas.

Pista	RF (%)		Percepción	
	Resultado pista	Valor ref.	Perciben la pista...	Prefieren la pista...
A_1	9.50	X	Dura (4)	Más blanda (3)
A_2	9.00	X	Dura (4)	Más blanda (3)
A_3	9.25	X	Dura (4)	Más blanda (3)
A_4	10.00	X	Dura (4)	Más blanda (3)
B_1	15.00	OK	Ni blanda ni dura (3)	Es adecuada (2)
B_2	15.00	OK	Dura (4)	Más blanda (3)
B_3	14.00	X	Dura (4)	Más blanda (3)
B_4	15.50	OK	Ni blanda ni dura/Dura (3/4)	Es adecuada (2)
B_5	15.25	OK	Ni blanda ni dura (3)	Es adecuada (2)
C_1	21.25	X	Ni blanda ni dura (3)	Más dura (1)
C_2	21.00	OK	Ni blanda ni dura (3)	Es adecuada (2)

Tabla 5.115. Comparación de la fricción medida con los valores de referencia identificados y la moda obtenida de los resultados de la evaluación de la percepción de los deportistas.

Pista	Fricción		Percepción	
	Resultado pista	Valor ref.	Perciben que...	Prefieren que...
A_1	72.50	X	Resbala mucho (1)	Frene más (3)
A_2	73.75	X	Resbala mucho (1)	Frene más (3)
A_3	67.50	X	Resbala mucho (1)	Frene más (3)
A_4	66.25	X	Resbala mucho (1)	Frene más (3)
B_1	96.25	OK	No resbala ni mucho ni poco (3)	Es adecuada (2)
B_2	96.25	OK	No resbala ni mucho ni poco (3)	Es adecuada (2.5)
B_3	97.50	OK	No resbala ni mucho ni poco (3)	Es adecuada (2)
B_4	95.00	OK	Resbala un poco (2)	Es adecuada (2)
B_5	95.00	OK	Resbala un poco/No resbala ni mucho ni poco (2/3)	Es adecuada/Frene más (2/3)
C_1	70.00	X	Resbala un poco (2)	Frene más (3)
C_2	68.75	X	Resbala mucho (1)	Frene más (3)

Tabla 5.116. Comparación de la altura del bote de pelota medida, los valores de referencia identificados y la moda de los resultados de la evaluación de la percepción de los deportistas.

Pista	H (%)		Percepción	
	Resultado pista	Valor ref.	Perciben que la pelota:	Prefieren que la pelota:
A_1	97.00	OK	Bota adecuadamente (3)	Es adecuado (2)
A_2	95.75	OK	Bota adecuadamente (3)	Es adecuado (2)
A_3	95.00	OK	Bota poco (2)	Botara más (1)
A_4	94.25	OK	Bota adecuadamente (3)	Es adecuado (2)
B_1	95.00	OK	Bota adecuadamente (3)	Es adecuado (2)
B_2	96.00	OK	Bota demasiado (4)	Botara menos (3)
B_3	96.00	OK	Bota demasiado (4)	Botara menos (3)
B_4	97.75	OK	Bota adecuadamente (3)	Es adecuado/Botara menos (2/3)
B_5	97.75	OK	Bote adecuado/Bota demasiado (3/4)	Botara menos (3)
C_1	92.75	X	Bota poco (2)	Botara más (1)
C_2	91.75	X	Bota poco/Bota adecuadamente (2/3)	Botara más (1)

A modo de resumen, la siguiente tabla muestra la comparación con los valores de referencia de cada uno de las propiedades evaluadas. Se ha resaltado con fondo rojo y la letra X aquellos casos en los que la pista no cumpliría con los valores de referencia y con fondo verde y la palabra OK aquellos casos en los que la propiedad sí se encontraría dentro de dichos valores (Tabla 5.117):

Tabla 5.117. Estado de las pistas evaluadas de acuerdo a los valores de referencia identificados para cada una de las variables.

Pista	RF (%)	Fricción	H (%)
A_1	X	X	OK
A_2	X	X	OK
A_3	X	X	OK
A_4	X	X	OK
B_1	OK	OK	OK
B_2	OK	OK	OK
B_3	X	OK	OK
B_4	OK	OK	OK
B_5	OK	OK	OK
C_1	X	X	X
C_2	OK	X	X

Como se puede observar en la Tabla 5.117, de acuerdo a los valores de referencia identificados, las pistas B_1, B_2, B_4 y B_5 presentarían todas las propiedades evaluadas dentro de los rangos establecidos.

Capítulo 6

Discusión

Resumen del capítulo:

En este capítulo se presenta la discusión de los resultados expuestos en el capítulo anterior, destacando especialmente aquellos aspectos relacionados con los objetivos fundamentales de la tesis: la selección de los ensayos a realizar sobre pavimentos de césped artificial destinados a la práctica del pádel y la identificación de los valores de referencia de cada una de las propiedades evaluadas mediante dichos ensayos. La discusión de cada uno de los resultados se apoya en la bibliografía expuesta en el estado del arte.

6.1. Aportación global de la tesis

El trabajo elaborado en esta tesis ha permitido, por un lado, arrojar luz en relación con las características del juego del pádel y, por otro, avanzar en la regularización de las propiedades que deben presentar los pavimentos utilizados para la práctica de esta disciplina deportiva.

Específicamente, se han efectuado tres aportaciones principales al estado del arte: (1) la identificación de los gestos deportivos más relevantes durante la práctica del pádel, (2) la definición de un protocolo de evaluación de las propiedades de los pavimentos de césped artificial destinados a la práctica de este deporte, y (3) la identificación de los valores de referencia que deben presentar dichas propiedades para garantizar la seguridad y el rendimiento de los jugadores.

Como resultado clave de esta tesis cabe destacar el desarrollo de un borrador de norma técnica que regula los rangos en que deben encontrarse las propiedades de los pavimentos de césped artificial para pádel. Ello permitirá la fabricación e instalación de superficies con características adecuadas para la práctica de este deporte de una forma segura, lo que se espera contribuya al desarrollo del pádel como deporte y como sector económico.

A continuación se describen de forma detallada las aportaciones principales citadas.

6.2. Identificación de los gestos más relevantes durante la práctica del pádel

La identificación de los gestos deportivos a los que recurren los jugadores de pádel con mayor frecuencia se realizó mediante la visualización de partidos, siguiendo la línea de los estudios publicados tanto sobre pádel (García Acedo & Ares Bella, 2007) como sobre tenis (Brown & O'Donoghue, 2008; Hughes & Clarke, 1995; O'Donoghue & Ingram, 2001), deporte que, a priori, presenta la mayor similitud con el primero. Esta metodología es la más adecuada desde el punto de vista de la cuantificación de la frecuencia de realización de los gestos deportivos y el análisis de la estrategia en el juego. Se han encontrado estudios que analizan la estrategia de los deportistas durante el juego real (Zanetti, 2009), principalmente sobre jugadores *amateurs* que no cuentan con sistemas de grabación de partidos que permitan un análisis posterior. Sin embargo, la visualización de partidos a posteriori permite estudios más detallados puesto que es posible valorar cada movimiento más de una vez.

En ambos deportes los gestos analizados se dividen en dos grupos: aquellos que implican una interacción entre el calzado y el pavimento, y los gestos en los que el deportista golpea la pelota, tras lo que se produce una interacción entre ésta y la superficie de juego. Esta división se mantendrá a la hora de evaluar las propiedades de los pavimentos deportivos, distinguiéndose entre los ensayos que analizan cada una de las interacciones indicadas.

El análisis de los vídeos permitió establecer la frecuencia con la que los jugadores de pádel recurren a los diferentes gestos. Sin embargo, considerando que el objetivo de esta tesis es poner a punto un protocolo que asegure el rendimiento y la seguridad de los deportistas, debe tenerse en cuenta que la relevancia de los gestos durante la práctica de una disciplina deportiva no está relacionada únicamente con la frecuencia con la que se producen sino también con el efecto que pueden tener sobre la seguridad y/o el rendimiento de los deportistas. Por tanto, la selección de las propiedades que han de evaluarse sobre los pavimentos deportivos y, en consecuencia, los ensayos a realizar, dependerán de qué gestos deportivos sean considerados más relevantes desde la perspectiva de los dos aspectos mencionados: frecuencia y efecto sobre la seguridad y el rendimiento. La seguridad, según la literatura, se fundamenta en el potencial lesivo. El rendimiento se basa en el efecto que una propiedad del pavimento puede tener sobre la velocidad o la precisión en la realización de los gestos de los deportistas. En ambos casos, debido a que el pádel es un deporte relativamente reciente, son escasos los estudios publicados por lo que con frecuencia ha de recurrirse a la literatura sobre otras disciplinas deportivas.

Ha de tenerse en cuenta que un gesto que efectúan los deportistas con una frecuencia reducida pero que presenta un alto potencial lesivo debe ser considerado relevante y valorarse desde el punto de vista del análisis de las propiedades del pavimento deportivo. Esta es la razón, por ejemplo, por la que la Federación Internacional de Rugby (*World Rugby*) incluye en su protocolo de evaluación de los pavimentos de césped artificial (*World Rugby – Regulation 22*) un ensayo denominado HIC (*Head Injury Criteria*), que simula una caída descontrolada de un jugador, regulado por la norma UNE-EN 1177. La realización de este ensayo se justifica por la alta incidencia de lesiones que se producen durante la práctica de este deporte como consecuencia de caídas al realizar una jugada denominada *touche*, en la que los jugadores levantan a un compañero para que alcance el balón tras un saque de banda (Kemp et al., 2008; Targett, 1998). El ensayo que regula esta norma analiza la capacidad del pavimento deportivo de reducir fuerzas de impacto, pero se diferencia del utilizado para evaluar los impactos que se producen durante la carrera o el salto, ya que este último considera la reducción de las fuerzas que llegan al

sistema musculoesquelético debida a la flexión de la rodilla y/o el tobillo. En el caso del HIC se analiza el impacto sufrido por una masa en caída libre sin otro elemento amortiguador que la superficie de juego, simulando una caída descontrolada de un jugador.

A continuación se discute el proceso seguido en cada caso para la valoración de la relevancia de cada gesto deportivo identificado.

6.2.1. Interacción calzado-pavimento

El procedimiento seguido para realizar el análisis cuantitativo de los movimientos realizados por los jugadores de pádel se ha basado en estudios similares realizados sobre tenistas (ya que el tenis se ha considerado a priori el deporte más próximo al pádel) en los que, en primer lugar, se identificaban los movimientos que realizaban los deportistas sobre la pista para cuantificar su frecuencia posteriormente. Dichos estudios consideraron los desplazamientos laterales, hacia adelante y hacia atrás, y los cuantificaron mediante el visionado de partidos entre deportistas profesionales, metodología, por otra parte, habitual en el análisis de la estrategia de otras disciplinas deportivas (Pieper et al., 2007; Young et al., 2001). En dichos estudios solo se analizaron los movimientos de los deportistas que suponían desplazamiento puesto que su objetivo era analizar la estrategia desde el punto de vista de sus movimientos y no el modo en que se producía su interacción con el pavimento.

En el caso del pádel, el único estudio encontrado (García Acedo & Ares Bella, 2007) clasifica los movimientos de los deportistas de la siguiente manera: desplazamientos (laterales, hacia atrás y hacia delante), carrera corta, giro (pivotando sobre el antepié), salto y *split-step*. Todos los movimientos nombrados suponen una interacción entre el calzado y el pavimento, por lo que, desde el punto de vista de la identificación de las propiedades adecuadas para las superficies destinadas a la práctica del pádel, se consideró necesario el análisis de la relevancia de cada uno de ellos.

Otros estudios sobre tenis identifican el *split-step* como un pequeño salto que realizan los jugadores antes de que el adversario golpee la pelota con el objetivo de bajar el centro de gravedad y estabilizar el cuerpo para preparar el golpe siguiente (Fernández et al., 2012; Martínez, 2013) por lo que, según estos estudios, los jugadores recurren a este movimiento tantas veces como golpes ejecutan sobre la pelota. Por tanto, en el análisis de la interacción entre el deportista y el pavimento, sería interesante tener en cuenta la evaluación de este movimiento. Su no inclusión en los estudios citados puede deberse a que

se trata de un gesto al que recurren todos los deportistas con el único objetivo de estabilizarse previamente a un golpeo, por lo que carece de interés desde el punto de vista de la estrategia del juego.

Del mismo modo, es posible que los estudios publicados no analicen la frecuencia de realización de los saltos porque, a diferencia del pádel, en el tenis los jugadores no saltan durante la ejecución de un remate; en el caso del pádel, según los resultados obtenidos en esta tesis, el salto con remate supone aproximadamente un 7% del total de movimientos realizados por los deportistas. Por otro lado, el estudio de los movimientos del pádel incluye el giro pivotando sobre el antepié, lo que no se analiza en el tenis, posiblemente por el mismo motivo que no se valora el *split-step* ni el salto (no forma parte de la estrategia de juego de los tenistas).

Por tanto, para el estudio objeto de esta tesis, basándose en las publicaciones encontradas, se visualizaron vídeos de partidos de jugadores profesionales, cuantificando los movimientos propios del pádel (García Acedo & Ares Bella, 2007), similares en su mayoría a los del tenis. En los movimientos coincidentes se observaron diferencias entre ambos deportes: aunque el desplazamiento lateral ha sido identificado como el movimiento más realizado en ambas disciplinas, en el caso del tenis supone un 60-80% de los movimientos (Pieper et al., 2007; Young et al., 2001), mientras que en el pádel el análisis realizado en esta tesis ha mostrado que supone aproximadamente un 37% del total. Por otra parte, en el tenis los mismos estudios indican que los desplazamientos hacia adelante representan un 10-30% y hacia atrás un 8-10%, mientras que en el pádel constituyen aproximadamente un 30% y un 3% respectivamente.

Estas diferencias pueden deberse a las características intrínsecas de ambos juegos: mientras el tenis se desarrolla principalmente en el fondo de la pista (y el deportista se desplaza lateralmente para alcanzar la pelota) (Dixon & Cooke, 2004), el juego del pádel consiste en cambiar de posición de ataque (cerca de la red) a defensa (fondo de la pista) dependiendo del movimiento de la pelota (Sánchez-Alcaraz, 2013). Esto provoca que los movimientos de carrera hacia adelante sean más frecuentes en este deporte en comparación con el tenis. Por otro lado, ha de destacarse que los desplazamientos hacia atrás son más frecuentes en el tenis puesto que los jugadores de pádel se desplazan de la red al fondo de la pista de forma lateral con el objetivo de contar con una mejor ubicación con respecto a la pared del fondo. En el tenis habitualmente los desplazamientos de la red o de media pista al fondo se realizan hacia atrás, con el objetivo de no quedarse de espaldas hacia ninguno de los lados de la pista ni al rival, lo que le daría a este último una gran ventaja.

Estos resultados señalan la existencia de diferencias entre ambos deportes desde el punto de vista de los movimientos que realizan los jugadores, diferencias esperables teniendo en cuenta: las distintas dimensiones de las pistas, que el tenis se juega habitualmente de forma individual y el pádel en dobles, las velocidades que adquiere la pelota en cada modalidad deportiva, etc. Estas diferencias implican requerimientos distintos desde el punto de vista de la interacción entre el calzado y la superficie de juego, lo que justifica el desarrollo de un procedimiento específico para evaluar pavimentos para pádel. Además, indica que el uso del tenis como referencia para la identificación de las características que deben presentar las superficies para pádel debe realizarse con cautela.

Los resultados de esta tesis han identificado como movimientos más frecuentes durante la práctica del pádel los desplazamientos laterales y frontales, cuya importancia sobre la seguridad y el rendimiento de los deportistas ha sido ampliamente documentada. En esta línea, los estudios realizados concluyen que para realizar los desplazamientos de forma segura y con un rendimiento adecuado es necesario contar con una interacción entre el calzado y el pavimento que aporte un agarre mínimo para evitar resbalones y poder realizar los diferentes movimientos con un rendimiento adecuado. Sin embargo, al mismo tiempo, no debe ser excesivo para evitar bloqueos del pie que podrían desembocar en lesiones de tobillo (Kaila, 2007; Nigg, 2013; Pluim et al., 2006; Schrier et al., 2014; Torg et al., 1974a). En el ámbito del deporte, se distingue entre tracción lineal y tracción rotacional (Heidt et al., 1996), dependiendo del modo en el que se produzca la interacción entre el calzado y el pavimento.

La **tracción lineal** se define como la fuerza de resistencia provocada por la interacción entre el calzado y el pavimento durante una **parada lateral o frontal o el inicio del movimiento en línea recta** (Cawley et al., 2003). Desde el punto de vista de la seguridad, esta propiedad presenta gran relevancia ya que se relaciona con la tendinitis de rodilla (Navarro, 2013) sufrida como consecuencia de las frenadas bruscas experimentadas por los deportistas debido a un agarre excesivo del pavimento durante los desplazamientos laterales (Cawley et al., 2003; Damm et al., 2014; Gehring et al., 2008; Heidt et al., 1996; Shorten & Himmelsbach, 2002).

Si se analiza desde la perspectiva del rendimiento, esta propiedad se relaciona tanto con las paradas laterales como con el arranque en las carreras frontales. En estudios realizados en tenis, se constata que un menor agarre implica un mayor tiempo en la ejecución de la parada lateral, lo que deriva en que el deportista realice el gesto siguiente con un menor rendimiento (Dixon & Cooke,

2004; Ura et al., 2014). En deportes en los que se utiliza calzado con tacos sobre césped artificial, la tracción generada por dichos tacos se relaciona con el rendimiento de los deportistas desde el punto de vista del tiempo invertido en la realización de un circuito que incluye paradas laterales y *sprints* (Cawley et al., 2003; De Clercq et al., 2014; Kirk et al., 2007; Schrier et al., 2014; Shorten & Himmelsbach, 2002), observándose que el calzado que facilita un mayor agarre favorece el rendimiento de los deportistas (realizan el circuito en menor tiempo). Los resultados de esta tesis han mostrado que, si bien la percepción de un mayor agarre no ha resultado en un menor tiempo de realización de un circuito que implicaba movimientos propios del pádel, los deportistas sí percibían que lograban un mayor rendimiento (ver apartado 5.4.3). Probablemente eran capaces de lograr finalizar el circuito en el mismo tiempo con un menor esfuerzo, lo que les llevaba a pensar que su rendimiento era mayor.

Por tanto, debido tanto a su frecuencia como a la relevancia de los desplazamientos que implican tracción lineal y teniendo en cuenta el efecto que una adecuada interacción tiene sobre la seguridad y el rendimiento, resulta imprescindible seleccionar un ensayo para la evaluación de esta propiedad.

La característica del pavimento que se relaciona con los **giros** efectuados por los jugadores es lo que se denomina en el ámbito deportivo **tracción rotacional**. Está vinculada con el momento torsor que se produce cuando se realiza un giro teniendo como punto de apoyo la zona de contacto entre la suela de la zapatilla y la superficie de juego (generalmente el antepié) (Livesay et al., 2006). Las lesiones que son consecuencia de una excesiva tracción rotacional se producen principalmente en deportes como el fútbol, el rugby o el fútbol americano, en los que se utiliza calzado con tacos. Existe un gran número de estudios que relacionan la tipología o el material de los tacos de las botas utilizadas en estos deportes con la incidencia de lesiones, principalmente del ligamento cruzado anterior de la rodilla (Gehring et al., 2008; Taylor et al., 2012; Torg et al., 1974). No obstante, no se han encontrado estudios sobre otros deportes que evalúen la interacción entre el calzado y el pavimento desde el punto de vista de la tracción rotacional.

En el caso del pádel, puesto que los deportistas no utilizan calzado de tacos, los pares torsores que se generan no son tan elevados, siendo el ligamento cruzado anterior de la rodilla capaz de soportar las cargas que se producen. Es por ello que en el estudio epidemiológico sobre pádel encontrado, no se detecta la presencia de lesiones en este ligamento (Navarro, 2013), motivo por el que este movimiento no se considera clave desde el punto de vista de la seguridad de los deportistas. Además, se ha identificado el giro con pivote como uno de los gestos que se produce con menor frecuencia durante la práctica del

pádel, por lo que no se consideró prioritario incluir un ensayo para la evaluación de esta propiedad.

Desde el punto de vista de los **saltos**, el **split-step** es el movimiento de mayor frecuencia. Sin embargo, la altura desde la que se produce la caída no supone unos niveles de impacto sobre el sistema musculoesquelético mayores que los propios de la carrera, que ya justifican la realización de un ensayo para la evaluación de la capacidad de amortiguación del pavimento. Por contra, el **salto con remate**, aunque presenta una frecuencia reducida de ejecución en comparación con otros movimientos, supone niveles de impacto elevados; mientras que durante la carrera el cuerpo es sometido a fuerzas próximas a dos veces el peso corporal, durante los saltos el valor de esta fuerza alcanza cuatro veces el peso del deportista. Distintos estudios publicados afirman que estos niveles de impacto pueden generar lesiones graves como roturas óseas (Hoeberigs, 1992; Jones, 1983; Macera, 1992) o artritis (Radin et al., 1973; Radin et al., 1972). Por tanto, resulta preciso que los pavimentos aporten una suficiente capacidad de reducción de las fuerzas de impacto considerando tanto el efecto que pueden tener los saltos con remate sobre la salud como la frecuencia de realización del *split-step* y teniendo en cuenta también que las fuerzas aplicadas sobre la superficie de juego al realizar los dos movimientos es diferente.

A partir de las consideraciones realizadas, la figura siguiente muestra de forma gráfica la ordenación de los diferentes movimientos de los deportistas teniendo en cuenta su frecuencia e importancia para el rendimiento y la salud de los deportistas (Figura 6.1.):

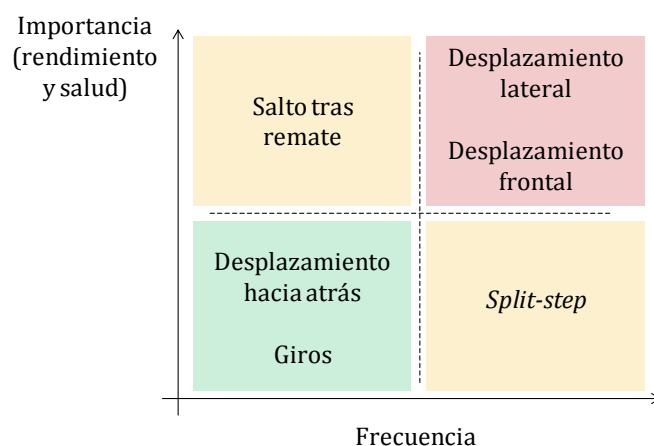


Figura 6.1. Representación de los diferentes movimientos en relación a su frecuencia de aparición y la importancia para el rendimiento y la salud de los deportistas.

A la vista de todo lo expuesto, como se muestra en la figura 6.1, los movimientos más relevantes, teniendo en cuenta su frecuencia y su importancia desde el punto de vista de la seguridad y del rendimiento, son los desplazamientos laterales y frontales.

En segundo lugar, se sitúan los movimientos que se producen con menor frecuencia pero tienen un efecto importante sobre la salud (salto con remate) y aquellos que ocurren con una frecuencia elevada pero no presentan un alto potencial lesivo (*split-step*).

Y, por último, aquellos movimientos que presentan baja frecuencia y bajo efecto sobre la salud y el rendimiento de los deportistas (desplazamientos hacia atrás y giros).

A partir de ello, se consideró que las propiedades que debían evaluarse sobre los pavimentos deportivos para pádel eran las siguientes:

- Fricción lineal: agarre entre el pavimento y el calzado durante un inicio de carrera o una parada lateral.
- Amortiguación de impactos: capacidad del pavimento de reducir las fuerzas de impacto provocadas por un deportista durante la carrera o el salto.

Estas dos propiedades se analizan en la mayoría de los pavimentos destinados a la práctica de diferentes disciplinas deportivas. Dependiendo de la estructura del pavimento o de las características específicas del deporte en cuestión, se evalúan otras propiedades, como la altura crítica de caída en el caso del rugby (ver apartado 6.2) o la deformación en pavimentos de césped artificial con mayor cantidad de material de relleno debido a las inestabilidades en la pisa-da que puede generar el material granulado.

En el caso del césped para pádel, el reducido espesor de la capa de relleno (9 mm aproximadamente, frente a los 45 mm que puede presentar un césped artificial para fútbol o los 55 mm en el caso del rugby) provoca que el riesgo de que se produzcan inestabilidades en el pie que supongan un riesgo para la integridad física de los deportistas sea muy baja; de hecho, en los pavimentos de césped artificial destinados al tenis y al hockey (que presentan estructuras similares al césped artificial para pádel) esta propiedad no se evalúa.

En el caso de superficies sobre las que se practican deportes que requieren el uso de calzado con tacos o los giros sobre un punto de apoyo son un movimiento muy frecuente, se evalúa la resistencia rotacional del pavimento. Sin

embargo, como se ha comentado, la relevancia de los giros en el caso del pádel hace que no se requiera la evaluación de dicha propiedad.

6.2.2. Interacción pelota-pavimento

El análisis cuantitativo de los golpes de pelota realizados por los jugadores se efectuó utilizando la misma metodología que en el apartado anterior: el visionado de vídeos de partidos. Este procedimiento es utilizado en el análisis de la estrategia de los deportistas desde el punto de vista de los golpes a los que recurren con mayor frecuencia. Por ello, en el tenis existen estudios que comparan los tiempos de peloteo o las zonas en las que se sitúa el deportista dependiendo de la superficie utilizada, su sexo o el nivel de juego (Brown & O'Donoghue, 2008; Hughes & Clarke, 1995; O'Donoghue & Ingram, 2001). De la misma manera, este procedimiento es utilizado en el análisis de la estrategia del fútbol (James et al., 2002; Kang et al., 2006), el baloncesto (Fu et al., 2011) o pádel (Lasaga, 2011).

Los resultados del análisis de partidos desarrollado en esta tesis para identificar los golpes más comunes durante la práctica del pádel muestran una alta frecuencia de la volea (24.66%), el globo indirecto (20.52%), el remate directo (17.76%) y la bandeja y el drive indirectos (14.70% y 14.55%, respectivamente). El único estudio publicado que incluye la cuantificación de los golpes durante la práctica del pádel (Corrales et al., 2008) establece una mayor presencia de los golpes directos (68.27%) con respecto a los indirectos (31.63%) y la volea fue identificada como el golpe al que recurren los deportistas con mayor frecuencia (25.57%). Este resultado coincide con los del análisis realizado en esta tesis, que identifica la volea como el golpe más común (25.5% del total de los golpes) y una frecuencia del doble de los golpes directos con respecto a los indirectos (68% frente al 31%).

La volea consiste en golpear la pelota antes de que impacte contra el suelo y se distingue de la bandeja y del remate en que se realiza por debajo de la cabeza. Su ejecución genera sobre la pelota un spin que provoca que, al impactar contra el suelo, el ángulo con el que la pelota es despedida no sea el que cabría esperar en ausencia de ese efecto (Carré et al., 2004; Mehta & Pallis, 2001). Por ello, el comportamiento de la pelota tras interactuar con el pavimento depende más de la técnica del deportista que de las características del pavimento.

Otros autores identifican el globo como uno de los golpes más representativos del pádel (Lasaga, 2011), lo que coincide con los resultados obtenidos en el análisis efectuado en esta tesis. No obstante, el estudio citado (Corrales et al.,

2008) no cuantifica la frecuencia con la que los deportistas lo realizan. El globo consiste en que la pelota supere por encima a los jugadores que se encuentran en posición de ataque. Tras su realización, la pelota interacciona con el pavimento en caída libre vertical previamente al siguiente golpe por parte de los deportistas del equipo contrario. Por tanto, las características del pavimento sí tendrán relevancia sobre el comportamiento de la pelota tras esta interacción, ya que en este caso la pelota carece de efecto.

A partir de ello se identificó que las interacciones más relevantes entre la pelota y el pavimento durante la práctica del pádel son:

- Bote angulado de la pelota con spin: interacción que se produce tras la ejecución de una volea.
- Bote vertical de la pelota: interacción entre la superficie de juego y la pelota en caída libre, simulando el contacto entre ambas tras la ejecución de un globo.

La interacción entre la pelota y el pavimento está relacionada con el rendimiento de los deportistas dado que la homogeneidad en el comportamiento de la pelota tras impactar con el pavimento permitirá a los jugadores una ejecución más precisa del golpe siguiente. Sin embargo, de acuerdo a lo comentado, cuando el golpeo de la pelota le haya otorgado efecto, su comportamiento tras impactar contra el suelo será distinto al que se produciría si la interacción fuera plana.

El bote vertical de la pelota es una propiedad que se evalúa en todos los deportes en los que se utilizan pelotas o balones mientras que el bote angulado sólo se analiza en el tenis para clasificar la velocidad de las pistas teniendo en cuenta los materiales que las integran (tierra batida, césped natural o artificial, hormigón poroso, resinas, etc.). La FIFA incluía este ensayo en su anterior manual de evaluación del césped artificial (*FIFA Quality Concept 2008*) pero fue retirado debido, por un lado, a la imposibilidad de reproducir el spin del balón en juego real con los equipos utilizados y, en segundo lugar, por no diferenciar entre superficies de césped artificial de tipologías distintas (longitud, material y tipo de fibra, material y espesor de relleno, utilización o no de capa elástica, etc.).

Por otro lado, en deportes como el fútbol o el hockey, en el que la pelota se desliza sobre la superficie de juego, se evalúa la distancia que rueda el balón tras deslizar sobre una rampa con altura y pendiente conocidas (ver apartado 2.7.2.3). La longitud de fibra que queda por encima del material de relleno, el estado en el que se encuentra la misma (verticalidad), el material que la compone o la forma (cóncava, con nervio central, etc.) tienen efecto sobre la distancia que será capaz de rodar el balón antes de detenerse, lo que afectará a la capaci-

dad de predicción de su comportamiento por los deportistas y, por tanto, a su rendimiento. En el pádel este ensayo no aplicaría dado que la pelota no rueda a lo largo de la pista durante el desarrollo del juego.

6.3. Definición del protocolo de evaluación de los pavimentos de césped artificial para pádel

Un protocolo es un plan escrito y detallado de un experimento científico, un ensayo clínico o una actuación médica (Diccionario de la lengua española, n.d.). Por tanto, un protocolo de ensayos debe incluir no solo los *tests* a realizar, sino información detallada del procedimiento de realización de los mismos (las zonas en las que deben efectuarse, las repeticiones requeridas, el orden en que deben llevarse a cabo, el procedimiento de cálculo de los resultados, etc.). Además, ha de obedecer a una economía de tiempo y recursos, incluyendo los ensayos necesarios y suficientes para la evaluación de las propiedades del pavimento sin que ello suponga costes excesivos.

Según lo especificado en el apartado 5.2 de esta tesis, las interacciones más relevantes del pavimento con el deportista y la pelota, teniendo en cuenta las características del pádel, son: amortiguación de impactos y fricción, y bote vertical y angulado de la pelota.

La evaluación de la **amortiguación de impactos** consiste en analizar la capacidad del pavimento de reducir el impacto provocado por una masa conocida que cae desde una altura determinada, simulando el impacto provocado por un deportista durante la carrera o el salto.

Ello puede llevar a pensar que existe una correlación entre las fuerzas de impacto medidas en el ensayo y las que actuarían sobre el sistema musculoesquelético del deportista durante la realización del gesto deportivo. Sin embargo, existen estudios que afirman que esta correlación no es correcta en todas las superficies deportivas debido principalmente a las adaptaciones de los patrones de movimiento que realiza el deportista, que no es posible tener en cuenta durante la realización de los ensayos mecánicos (Nigg & Yeadon, 1987). Esta baja correlación se produce principalmente en deportistas con mayor experiencia o mejor estado de forma, ya que cuentan con una técnica más adecuada o una capacidad muscular mayor que les permite reducir las fuerzas de impacto originadas en la interacción con el pavimento.

Por otro lado, se ha demostrado que, debido al comportamiento de los materiales que conforman los pavimentos deportivos, la masa y la altura desde la

que se deja caer (y, por tanto, la velocidad a la que se produce el impacto) modifica no solo el impacto o la aceleración medidas sino que también puede cambiar la ordenación de los pavimentos teniendo en cuenta su mayor o menor capacidad de amortiguación (Nigg, 1990; Nigg & Yeadon, 1987). Es por ello por lo que, debido a las diferencias existentes entre las cargas aplicadas en distintos deportes, sería necesario generar un protocolo capaz de reproducirlas durante la evaluación de los pavimentos deportivos destinados a cada uno de ellos. A esto se añade que en el caso del pádel no se conocen las fuerzas generadas por los deportistas en su interacción con el pavimento deportivo.

Por tanto, a escala internacional se unificó la metodología de ensayo utilizada en la evaluación de esta propiedad en todos los pavimentos deportivos, independientemente de los materiales que los conformaran, siendo los criterios de aceptación y rechazo diferentes dependiendo de la disciplina deportiva a la que estén destinados. Dicha metodología es la regulada por la norma UNE-EN 14808 y evalúa la amortiguación de impactos mediante un equipo denominado Atleta de Berlín (ver apartado 4.3.1.3a). Sin embargo, la FIFA incluyó en su último manual (FIFA Quality Concept 2014) un nuevo equipo denominado Triple A (*Advanced Artificial Athlete*) para la evaluación de la amortiguación de impactos, en el que se deja caer una masa igual a la del Atleta de Berlín desde la misma altura y con un muelle de la misma rigidez; la diferencia entre ambos equipos es que el Triple A mide la reducción de impactos a partir de una señal de un acelerómetro en lugar de mediante una célula de carga, como lo hace el Atleta de Berlín. La medida tomada con el acelerómetro permite obtener, a partir de una misma señal, la reducción de fuerzas, la deformación vertical y el retorno de energía; sin embargo, de acuerdo a lo especificado en el apartado 2.7.2.2b, este ensayo no ha sido elevado a norma hasta el momento dada la gran controversia que existe sobre el cálculo de las diferentes propiedades en superficies distintas al césped artificial con relleno de caucho.

Por este motivo se ha descartado la utilización del Triple A en la definición del protocolo de evaluación de pistas de pádel y se ha seleccionado el procedimiento regulado por la norma UNE-EN 14808.

La **fricción lineal** se evalúa actualmente sobre los pavimentos deportivos mediante un equipo denominado Péndulo TRRL según la norma UNE-EN 13036-4 (ver apartado 4.3.1.2a). Este ensayo proviene de la evaluación de la fricción de una pieza de caucho estandarizado en carreteras y superficies aeroportuarias y no reproduce los movimientos reales de los deportistas durante la práctica de ninguna disciplina deportiva. Además, en un estudio publicado sobre la validez de los ensayos realizados sobre los pavimentos deportivos,

se afirma que el material utilizado para la evaluación de dicha fricción no simula los materiales utilizados en la fabricación de las suelas de las zapatillas, lo que impide contar con una información ajustada sobre el agarre entre éstas y el pavimento (Nigg, 1990). Sin embargo, el mismo estudio concluye que los resultados de este ensayo pueden aportar información sobre el potencial de un pavimento para reducir la frecuencia de sufrir lesiones por los deportistas.

Por otro lado, tanto los resultados mostrados en esta tesis como los obtenidos en un estudio similar realizado sobre superficies de césped artificial para hockey (Young, 2006) demuestran que existe una correlación entre la fricción lineal evaluada mediante dicho ensayo y la percepción de agarre de los deportistas.

Además, del mismo modo que en el caso de la amortiguación de impactos, se trata de un ensayo estándar utilizado para la evaluación de los pavimentos deportivos sobre los que se practica una disciplina deportiva que implica fricción lateral o frontal y son los valores de referencia los que fijan los criterios de aceptación y rechazo de los pavimentos para la práctica de un deporte concreto.

Actualmente no existen ensayos normativos que evalúen la fricción de los pavimentos deportivos simulando las fuerzas y velocidades aplicadas durante la práctica de un deporte determinado, a lo que se une que no existen estudios sobre dichas fuerzas y velocidades en el caso concreto del pádel. Por tanto, se ha seleccionado este ensayo para la evaluación de la fricción lineal de las superficies destinadas a la práctica de esta disciplina deportiva.

Con respecto a la interacción entre la pelota y el pavimento, el **bote vertical de la pelota** se analiza de acuerdo a la norma técnica UNE-EN 12235 y consiste en la evaluación de la altura alcanzada por la pelota tras impactar contra el suelo al caer desde una altura conocida (ver apartado 4.3.1.2a).

En este caso, el ensayo reproduce la interacción real entre la pelota y el pavimento, independientemente de que ésta pueda impactar a una velocidad mayor o menor dependiendo de la altura de caída. Por tanto, se decidió incluir este ensayo en el protocolo de evaluación de superficies para pádel.

El **bote angulado de pelota** se evalúa de acuerdo a la norma UNE-EN 13865 (ver apartado 2.7.2.3). La ejecución de la volea depende de la velocidad y altura a la que el atacante golpee la pelota y de la posición en la que se encuentre el defensor. Con ello, la respuesta puede ir desde un golpe con efecto al fondo de la pista hasta una bola cortada al lado de la red. La amplia variedad en la ejecución de la volea provoca que no sea posible analizar la interacción entre

la pelota y el pavimento en todos los casos, ya que depende más de la técnica del jugador que de la respuesta del pavimento a dicha interacción.

Por otra parte, durante la realización de este golpe los deportistas generan en la pelota un efecto (*spin*) que complica la predicción del comportamiento de ésta tras su interacción con la superficie de juego. Actualmente no existe un equipo de ensayo normativo capaz de reproducir este efecto o *spin*. En el caso del tenis, los estudios consultados muestran que el *spin* generado sobre la pelota depende del rozamiento entre ésta y la raqueta, y de la técnica del deportista (Allen et al., 2010; Bower & Cross, 2005; Choppin et al., 2011; Goodwill & Haake, 2004), además de señalar que el ángulo con el que sale despedida la pelota tras impactar con el pavimento está directamente relacionado con dicho *spin* (Carré et al., 2004; Mehta & Pallis, 2001).

Como se ha comentado en el capítulo relativo al estado del arte, existe un ensayo que evalúa el bote angulado de la pelota teniendo en cuenta el ángulo de entrada y de salida y el *pace* (distancia que la pelota ha deslizado sobre el suelo durante el contacto) (ver apartado 2.7.2.3). Este ensayo se realiza actualmente en el tenis y las normas que regulan los pavimentos en los que se practica no cuentan con criterios de aceptación y rechazo sino que su objetivo es clasificar la velocidad de las pistas puesto que existen soluciones constructivas muy diferentes (césped natural, césped artificial, tierra batida y pavimento sintético).

De acuerdo con lo expuesto en el apartado 6.2.2, en el caso del fútbol la FIFA incluía este ensayo en sus *FIFA Quality Concept* para la evaluación de campos de césped artificial destinados a usos profesionales. Sin embargo, puesto que los equipos de ensayo no eran capaces de reproducir la interacción real entre el balón y el pavimento y no se establecían diferencias significativas entre las distintas tipologías de césped artificial, este organismo lo eliminó de su manual de calidad. Por tanto, teniendo en cuenta la imposibilidad de reproducir el efecto de la pelota y que se ha demostrado en otros deportes que el ensayo no discrimina entre diferentes tipologías de césped artificial, se descarta la inclusión de este ensayo en el protocolo de evaluación de pavimentos para la práctica del pádel.

En la actualidad se está trabajando en el desarrollo de equipos capaces de reproducir diferentes efectos. Sin embargo, dada la dificultad que implica el control del *spin*, se está utilizando principalmente en la investigación sobre balones de fútbol para analizar su efecto en, por ejemplo, los tiros de falta (Asai et al., 2002; Carré et al., 2002; Carré et al., 2004; Craig et al., 2006; Marinelli, 2000).

Los protocolos de ensayo de pavimentos utilizados en diferentes deportes identifican las **zonas que deben evaluarse** en el terreno de juego considerando

la variabilidad que pueden presentar sus propiedades, inherentes al proceso de fabricación e instalación y al mayor desgaste de una zonas con respecto a otras debido al uso.

En el caso del césped artificial, el uso más frecuente de ciertas zonas provoca una mayor compactación del material de relleno y una reducción de la longitud de la fibra (Alcántara et al., 2009; Franco, 2008), lo que causa una disminución de la capacidad de amortiguación de impactos y del agarre entre el pavimento y el calzado (Bowers & Martin, 1973; Burillo, 2010; Shorten & Himmelsbach, 2002). Ello aumenta el riesgo de lesión de los deportistas y la disminución de su rendimiento (Durá et al., 1999; Frederick et al., 1984; Galbusera et al., 2013). Además, produce irregularidades en el comportamiento del pavimento a lo largo de la pista aumentando el riesgo de lesión de los jugadores debido a que la respuesta de la superficie de juego puede variar dependiendo de la zona en la que se encuentren, siendo por tanto inesperada para los deportistas (Gu et al., 2014).

Por ejemplo, la norma que regula las propiedades de las superficies de césped artificial para tenis (UNE-EN 15330-1) indica que en las pistas se deben evaluar las zonas mostradas en la siguiente imagen (Figura 6.2):

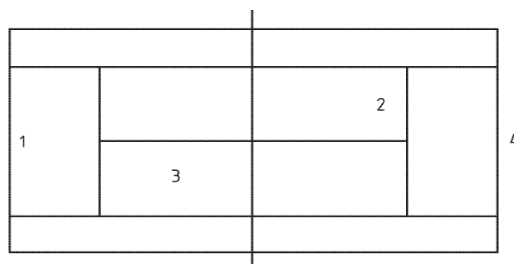


Figura 6.2. Zonas de ensayo en una pista de tenis (UNE-EN 15330-1:2014).

Según los estudios publicados, la mayor parte de los puntos en tenis se juegan desde la línea de fondo (O'Donoghue & Ingram, 2001) (zona 1 Figura 5.2), aunque la profundidad depende de la superficie de juego, del nivel de los jugadores y del sexo (Brown & O'Donoghue, 2008; Hughes & Clarke, 1995) (zonas 1 y 4 Figura 6.2). Sin embargo, cuando se practica este deporte por parejas (dobles), la mayoría del juego se desarrolla en la mitad de la pista (O'Donoghue & Ingram, 2001) (zonas 2 y 3 Figura 6.2). Por tanto, las zonas identificadas por la norma técnica vigente para la evaluación de las propiedades de las pistas de tenis de césped artificial sigue un criterio de frecuencia de uso.

En el pádel, el desarrollo del juego se realiza principalmente en las zonas de ataque y defensa (Sánchez-Alcaraz, 2013) (Figura 6.3).

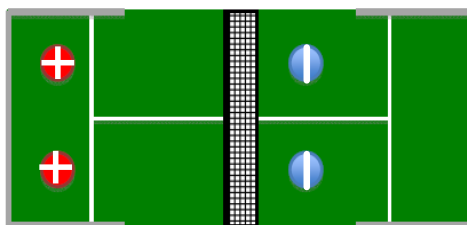


Figura 6.3. Posición de defensa (puntos rojos-cruz blanca) y ataque (puntos azules-línea vertical blanca) durante el juego del pádel.

De hecho, durante el visionado de partidos para el análisis de los gestos realizados por los deportistas, se comprobó que los miembros de cada equipo pasan a posición de ataque o defensa de forma simultánea. Es decir, se observó que durante el desarrollo de partidos entre profesionales un equipo está en posición de ataque y otro en posición de defensa (como se esquematiza en la Figura 6.3).

Por ello, siguiendo el mismo criterio que en el tenis, las zonas seleccionadas para evaluar las propiedades son las mostradas en la figura 6.4:

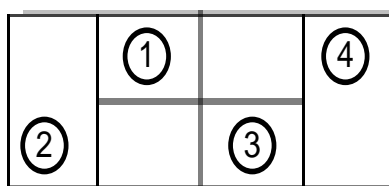


Figura 6.4. Puntos seleccionados para la evaluación de las propiedades de las pistas de pádel.

No obstante, durante el desarrollo de esta tesis, se ha comprobado que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las cuatro zonas, por lo que podría reducirse el número de puntos a evaluar. Sin embargo, con el objetivo de disminuir el riesgo de que los defectos en la construcción de la subbase o en la instalación del pavimento provoquen diferencias, se decidió incluir en el protocolo las cuatro zonas de medida, evaluándose en cada una de ellas un único punto (del mismo modo que en las superficies para tenis).

Debe tenerse en cuenta que en las superficies para pádel todos los ensayos deben realizarse en las cuatro zonas, a diferencia del tenis, cuyo protocolo indica que los ensayos que implican interacción entre la pelota y el pavimento no se deben realizar en la zona 4 por encontrarse fuera de la zona de juego. En el caso del pádel todas las zonas incluidas en la pista forman parte de la superficie de juego.

En este sentido, dado que en las cuatro zonas se deberán llevar a cabo los tres ensayos seleccionados (amortiguación de impactos, fricción y bote vertical de pelota) es posible que, si dos ensayos se realizan exactamente sobre el mismo punto, el resultado del segundo pueda verse alterado (por ejemplo, la compactación del material al realizar el ensayo de amortiguación de impactos puede afectar al valor obtenido en el ensayo del bote vertical de pelota). Para evitar esta circunstancia, las normas técnicas vigentes indican que en laboratorio, puesto que las muestras son de menor tamaño y la probabilidad de que se repitan puntos de ensayo es mayor, éstos deben alejarse una distancia mínima de 100 mm. Por tanto, en el protocolo de ensayo se indica que los puntos sobre los que se llevarán a cabo los diferentes ensayos deben encontrarse a una distancia mínima de 100 mm. Ello supone que el orden en que se efectúen no afectará los resultados obtenidos ya que ningún punto de ensayo habrá sido objeto de un test previo.

Finalmente, el procedimiento de realización de cada ensayo descrito en las normas incluye el método de cálculo de los resultados, por lo que éste se realizará según lo expuesto en dichos documentos técnicos (ver apartado 4.3.1.2a).

Sobre la repetibilidad de los resultados, los estadísticos descriptivos obtenidos en los ensayos realizados sobre pistas de pádel en el desarrollo de esta tesis muestran variabilidades bajas. Los coeficientes de variación de la amortiguación de impactos, fricción y bote vertical de pelota son como máximo del 10% (ver apartado 5.3.), lo que indica que el protocolo de medida definido es correcto.

6.4. Identificación y validación de los valores de referencia de las propiedades de los pavimentos de césped artificial para pádel

La identificación de los valores de referencia que deben presentar las propiedades de los pavimentos de césped artificial para la práctica del pádel se realizó a partir de la valoración subjetiva de los deportistas sobre cada una de las propiedades evaluadas.

A este respecto, el trabajo desarrollado en esta tesis siguió una metodología que consistió en la evaluación de pistas de pádel de césped artificial mediante el protocolo definido. Posteriormente se encuestó a deportistas sobre cómo percibían cada una de las propiedades evaluadas, relacionándolas con conceptos fácilmente entendibles por ellos cuya validez se corroboró a posteriori a partir de los resultados del análisis de correlaciones.

Esta metodología es ampliamente utilizada en la definición de las propiedades de los pavimentos deportivos destinados a diferentes disciplinas deportivas como hockey o fútbol e incluso danza (Fleming, 2005; Hopper et al., 2011; Young et al., 2004; Young, 2006; Zanetti, 2009). Utiliza el juicio de los deportistas para establecer qué pistas son adecuadas y cuáles desde un enfoque global de rendimiento y salud, así como su percepción con respecto a las propiedades de las pistas. Sin embargo, para utilizar esta metodología es imprescindible conocer con qué conceptos relacionan los deportistas cada una de las propiedades evaluadas.

Por ello se elaboró una encuesta a partir de la información obtenida de cuestionarios utilizados en estudios que aplicaban esta metodología (Fleming, 2005; Young et al., 2004; Young, 2006) con el propósito de encontrar correlaciones entre la percepción de los deportistas y las propiedades mecánicas de los pavimentos de césped artificial. En dichos estudios, realizados sobre jugadores de hockey experimentados, los cuestionarios incluían preguntas relativas a la dureza (*hardness*) y la resbaladidad (*slippy*), cuyas respuestas guardaban relación con la amortiguación de impactos y la fricción, respectivamente. Se obtuvo una correlación entre percepción y medidas de aproximadamente 0.7 en campos de hockey de césped artificial. Por tanto, el estudio llevado a cabo en esta tesis siguió estos mismos planteamientos elaborándose una encuesta que contenía preguntas en los mismos términos que fue validada previamente a la realización del estudio en una prueba piloto inicial. A partir de los resultados del estudio piloto, se obtuvo un valor de Alfa de Cronbach de 0.76. Valores de Alfa de Cronbach superiores a 0.7 se consideran aceptables (Soto & Lautenschlager, 2003), por lo que se concluyó que la encuesta era adecuada para la identificación de los valores de referencia.

La **identificación de los valores de referencia** se centró en la opinión subjetiva de los deportistas sobre cómo percibían la pista en relación con sus diferentes propiedades y sobre cómo la preferían. Para ello se comprobó, en primer lugar, que existía una correlación entre la percepción de los deportistas y los resultados obtenidos de la evaluación mecánica de las propiedades de forma que, a modo de ejemplo, pistas percibidas como duras por los deportistas presentarían valores de reducción de fuerzas menores y viceversa. Además, se comprobó que aquellos deportistas que percibían la pista dura indicaban que preferirían que fuera menos dura. En el proceso de identificación de los valores de referencia no se tuvieron en cuenta las respuestas de los deportistas que, habiendo indicado que percibían la pista dura, en relación con la preferencia señalaban que les gustaría que fuera más dura. Del mismo modo, se actuó con los resultados de la valoración de la fricción y del bote de pelota.

Una vez eliminados estos datos del estudio, se fijaron los valores de referencia a partir de la valoración de la preferencia, fijando como valores de referencia los que eran considerados por los deportistas como adecuados y los límites en aquellos valores en los que los deportistas indicaban que preferirían que el valor de una propiedad fuera mayor o menor.

La metodología empleada ha seguido las pautas de estudios previos en los que los investigadores fijaban estándares para los pavimentos de fútbol de césped natural a partir de las percepciones y preferencias de los deportistas (tanto *amateurs* como profesionales) que fueron publicadas en un capítulo del libro *Natural and Artificial playing fields* titulado *Standards for the playing quality of natural turf for Association Football* (Schmidt, 1990). Dicho estudio fijó dos rangos: aceptable y preferido. El rango de propiedades considerado aceptable se fijó a partir de las valoraciones de la preferencia de los deportistas. El rango preferido se determinó a partir de los casos en los que los deportistas percibían las propiedades como adecuadas.

En la misma línea, la tesis doctoral “Estudio de los trinquetes de pilota valenciana según criterios epidemiológicos, de opinión y biomecánicos” (Montaner, 2010) clasificó los trinquetes a partir de la valoración que los deportistas realizan de los mismos, identificando los valores que presentaban sus diferentes propiedades según fueran calificados como adecuados o no adecuados.

Teniendo en cuenta los valores de correlación obtenidos entre la opinión de los deportistas, se puede concluir que el proceso de identificación de los valores de referencia es adecuado. Sin embargo, inicialmente presentó algunas limitaciones relacionadas principalmente con las pistas evaluadas y la ausencia de superficies con propiedades diferenciadas, sobre todo en el caso de la fricción y el bote de pelota. Para subsanar esta limitación, se seleccionaron para la fase de validación pistas que cubrieran parte de los valores que no se analizaron en la fase de identificación. En el resto de casos se recurrió a valores de referencia utilizados por otras normas (ver apartado 5.4.3), aunque se considera necesario desarrollar trabajos futuros que los validen teniendo en cuenta la opinión de los jugadores de pádel durante la práctica de este deporte sobre césped artificial.

6.4.1. Metodología de identificación de los valores de referencia

El objetivo del trabajo desarrollado en esta tesis no es la identificación del estado o de las propiedades de las pistas de pádel instaladas actualmente sino determinar los rangos en que deben encontrarse sus propiedades mecánicas

(ver apartado 6.4.3). En función del propósito que se persiga, el proceso de selección de las pistas a evaluar será distinto.

Para los objetivos de este estudio fue necesario contar con pistas que presentaran propiedades diferentes a fin de conocer cómo las valoraban los deportistas y si eran capaces de detectar diferencias entre ellas. En este sentido, según los estudios publicados, el uso y la exposición a los agentes meteorológicos provocan la modificación de las propiedades deportivas del césped artificial (Franco, 2008). La exposición a la radiación UV de las fibras conlleva un cambio de propiedades del material, que provoca una fragilización del mismo y la rotura de los penachos en la parte más alejada del *backing*, principalmente en las zonas más usadas del campo. Esta rotura provoca un acortamiento de la fibra, lo que tiene efecto tanto en la rodadura del balón o pelota (en el caso de que la disciplina deportiva requiera que el balón o la pelota ruede sobre la superficie, una menor longitud de fibra libre ofrecerá menor resistencia a la rodadura) y en la cantidad de material que puede albergar el césped. A medida que la longitud de la fibra se acorta, el espesor de la capa de relleno disminuye, reduciéndose por tanto la capacidad de amortiguación de impactos del pavimento. En el caso del pádel cabe incluir una problemática añadida: a medida que la longitud de la fibra se reduce, aparece arena en la superficie, lo que provoca una mayor resbaladidad del pavimento debido a que el calzado interacciona directamente sobre las partículas de arena y no sobre la fibra, siendo este problema más acusado en las zonas de mayor uso dentro de la pista (Sánchez-Alcaraz, 2013).

Además, el uso provoca también una compactación de los materiales de relleno (Franco, 2008). Este efecto da lugar a dos problemas principales: en primer lugar, el material de relleno pierde la capacidad de amortiguar impactos a consecuencia de la reorganización de las partículas y la ocupación de los huecos; y en segundo lugar, en el caso de deportes en los que se usa calzado con tacos, estos pueden quedar clavados en el césped durante la ejecución de una parada lateral o un giro, con el consiguiente riesgo de sufrir lesiones en los ligamentos de la rodilla (lateral externo y anterior, respectivamente) o en el tobillo por bloqueo en una parada lateral.

Por otro lado, según estudios realizados sobre césped artificial destinado a la práctica del fútbol (Alcántara et al., 2009; Sánchez, 2014), la estructura del césped artificial tiene efecto sobre las propiedades finales del pavimento. La distribución granulométrica de los materiales de relleno (porcentaje de partículas finas y gruesas) influye sobre el efecto que el uso tiene sobre la pérdida de las propiedades del pavimento, demostrándose que un porcentaje mayor de partículas finas conlleva una mayor ocupación de los huecos y, por consiguiente, una

más rápida compactación del material. Por otro lado, también se demostró que la tipología de la fibra (forma, material, monofilamento/fibrilada) tiene efecto sobre su capacidad de mantenerse vertical y, por tanto, de controlar la distancia rodada por el balón.

A diferencia del fútbol, para el que se cuenta con el césped natural como superficie cuyas propiedades marcan los valores de referencia que deben presentar los pavimentos de césped artificial, en el pádel no existe esta superficie de referencia ni se han publicado estudios que demuestren el efecto de la tipología de césped, el uso y los agentes meteorológicos sobre las propiedades del césped artificial, si bien se entiende que, al igual que en el resto de pavimentos deportivos de césped artificial, estos agentes tendrán influencia sobre las mismas. Por tanto, los criterios seguidos para seleccionar pistas fueron los siguientes:

- Que contaran con césped artificial de diferentes tipologías (tipo y longitud de fibra).
- Que hubieran sido instaladas en años diferentes.
- Que contaran con usos semanales similares, lo que garantizaba que unas hubieran sido utilizadas durante más horas que otras debido a las fechas diferentes de instalación.

En este sentido, los resultados mostraron que, si bien las pistas seleccionadas sí presentaban valores muy diferenciados en algunas propiedades, en otras no se logró el objetivo buscado. Las pistas ensayadas abarcaban valores de reducción de fuerzas bajas (alrededor del 9%), medios (sobre el 15%) y altos (alrededor de 21%), lo que permitió una identificación más clara de los rangos en que debía encontrarse esta propiedad desde el punto de vista de la opinión de los deportistas.

Sin embargo, en el caso de la fricción, las pistas seleccionadas presentaron valores entre 66 y 75 o entre 95 y 98, quedando un rango entre 75 y 95 en el que no se contó con información sobre la valoración de los deportistas. Los resultados mostraron que un valor de fricción de 75 era considerado deficiente por los deportistas (pedían mayor agarre), 95 era considerado por algunos deportistas deficiente y por otros adecuado y entre 96 y 98 era considerado adecuado. No obstante, debido a que no se contó con pistas con un valor de fricción entre 75 y 95 y mayor de 98, no pudo identificarse valores de referencia definitivos para esta propiedad. Esta limitación se tuvo en cuenta en el proceso de selección de las pistas para llevar a cabo el proceso de validación de los valores de referencia eligiendo una pista con un valor de fricción de 80 (ver apartado 4.4.1.2).

En el caso del bote vertical de pelota, el problema se identificó en el comportamiento similar de todas las pistas objeto de estudio, que presentan diferencias máximas del 5%. Sin embargo, aunque las respuestas de los deportistas indicaron que sí eran capaces de discriminar entre bote deficiente y excesivo dentro de este reducido rango, se decidió contar en el proceso de validación con pistas con valores de bote vertical mayores con el objetivo de corroborar que los jugadores de pádel identificaban como límite el valor de referencia identificado.

La **selección de los deportistas** que participaron en el estudio se llevó a cabo siguiendo criterios tanto de edad como de experiencia en la práctica del pádel. Dado que el objetivo era obtener los valores de referencia de las propiedades de los pavimentos para garantizar el rendimiento pero principalmente la seguridad de los deportistas, en esta primera aproximación se descartaron los deportistas profesionales y semiprofesionales. Estos deportistas, debido tanto a su preparación física como a una mejor técnica en la realización de los diferentes gestos, son capaces de aplicar mayores fuerzas a velocidades más elevadas (Chaouachi et al., 2009; Cometti et al., 2001), lo que implica que sus requerimientos en relación con los pavimentos pueden ser más exigentes. De hecho, ello provoca que los organismos que regulan las propiedades que deben cumplir los pavimentos para una determinada disciplina deportiva generen sus propios criterios de competición, generalmente más restrictivos que la documentación técnica europea (pensada para deporte de masas). Por ejemplo, la FIFA distingue entre las propiedades que debe cumplir un pavimento para deportistas amateurs y profesionales, denominándolas FIFA una estrella (FIFA*) y FIFA dos estrellas (FIFA**) respectivamente. En este caso, los requerimientos de los pavimentos clasificados como FIFA** son más restrictivos ya que persiguen que los deportistas logren un mayor rendimiento.

En la misma línea, la ITF ha generado unos criterios de aceptación y rechazo de las pistas para el desarrollo de las competiciones reguladas por dicha federación. Dichos criterios se basan en propiedades relacionadas únicamente con el rendimiento de los deportistas, ya que evalúan el comportamiento de la pelota (bote vertical y angulado), las pendientes y la planimetría de la pista y sus dimensiones. No incluyen aspectos relacionados con la seguridad, como la fricción o la amortiguación de impactos, propiedades que sí deben controlarse en superficies destinadas al deporte *amateur* de acuerdo a las diferentes normas técnicas que regulan las propiedades de estos pavimentos dependiendo de su tipología.

Por tanto, dado que el objetivo de esta tesis es la obtención de los valores de referencia que se incluirán en una norma técnica para deportistas *amateurs*, se consideraron únicamente este tipo de jugadores. Sin embargo, durante el

desarrollo de una tarea de la fase de validación se contó con deportistas semi-profesionales, lo que permitió comprobar si los diferentes requerimientos de las superficies deportivas por parte de deportistas profesionales y *amateurs* observados en otros deportes se replicaban en el caso del pádel, pudiéndose plantear la necesidad de generar dos niveles de requerimientos del césped artificial para pádel atendiendo a los jugadores a los que fuera destinado (del mismo modo que la FIFA y la ITF).

El cálculo del número de deportistas que debían participar en el estudio se basó en las ecuaciones para el cálculo del tamaño muestral teniendo en cuenta la correlación entre la percepción de los deportistas y las propiedades evaluadas (Vallejo, 2012). Según estudios publicados (Witana et al., 2009; Young et al., 2004), el coeficiente de correlación (r) entre propiedades mecánicas de elementos como el pavimento deportivo o el calzado y la percepción de los usuarios se encuentra alrededor de 0.4. Esto dio como resultado que fuera necesario contar con 89 deportistas encuestados. Sin embargo, dado que los deportistas rellenaban la encuesta de forma individual, se desconocía a priori si cumplían con los requisitos de selección identificados, por lo que finalmente se contó con un total de 190 encuestados de los que 176 cumplían con los requisitos impuestos. La correlación obtenida entre las propiedades de las pistas de pádel y la opinión de los deportistas fue de alrededor de 0.7-0.8 (dependiendo de la propiedad), lo que indica que tanto la selección de los deportistas como el tamaño muestral fueron adecuados.

Por otro lado, en cada una de las propiedades se calculó la potencia de test y el tamaño del efecto, comprobando en todos los casos que era adecuado para la obtención de resultados concluyentes.

6.4.2. Metodología de validación de los valores de referencia

Una vez identificados los valores de referencia se planteó su validación en dos fases: mediante la valoración subjetiva tras la disputa de un partido y tras la realización de un circuito controlado utilizando el mismo calzado.

Para la **validación mediante la valoración subjetiva tras la disputa de un partido**, dado que los valores de referencia se habían identificado de acuerdo con la valoración subjetiva de deportistas *amateurs*, se seleccionaron jugadores con las mismas características. En caso de que se deseara fijar estos valores de referencia como estándares para superficies destinadas a deportistas de élite, los valores identificados deberían revisarse teniendo en cuenta que las fuerzas aplicadas por los jugadores profesionales y las velocidades a las

que realizan los gestos son mayores y es posible que sus requerimientos conviertan en no adecuados los valores identificados.

La validación se llevó a cabo sobre dos pistas: una situada dentro de los valores de referencia identificados y otra no adecuada de acuerdo a la opinión de los deportistas que participaron en la fase 2. El objetivo de esta fase de validación fue comprobar que las pistas cuyas propiedades se encontraban dentro de los valores de referencia identificados eran percibidas como adecuadas por los deportistas y, de la misma manera, corroborar que aquellas cuyas características se encontraban fuera de dichos rangos eran valoradas como no adecuadas.

En el proceso de selección se tuvieron en cuenta las limitaciones detectadas en el proceso de identificación de los valores de referencia, intentando cubrir aquellos valores que no se valoraron durante dicho proceso. Por tanto, debido a que no se contó con una pista con un valor de fricción entre 75 y 95 (y los deportistas valoraron el primero como deficiente y el segundo como adecuado), se seleccionó una superficie con un valor de fricción igual a 80 con el objetivo de identificar el valor mínimo de fricción adecuado para los deportistas.

En el caso del bote vertical de pelota, dado que la norma que rige el comportamiento de los pavimentos de césped artificial para tenis (UNE-EN 15330-1) no fija un límite superior para esta propiedad, se decidió que la pista seleccionada, fuera de los valores de referencia identificados, contara con valores de bote vertical superiores a los analizados en las pistas objeto de estudio en la fase 2. Ello permitió concluir que, a diferencia de lo que ocurre en el tenis, en el pádel sí es necesario contar con un límite superior para esta propiedad.

Por otro lado, dado que en el proceso de identificación de los valores de referencia se utilizó una encuesta para analizar la percepción y la preferencia de las propiedades de las superficies de césped artificial, durante el proceso de validación de dichos valores se utilizó el mismo cuestionario ya que la correlación obtenida entre valoración subjetiva y propiedades mecánicas corroboraron su adecuación de acuerdo a los objetivos marcados.

Sin embargo, puesto que los valores de referencia identificados tenían como objetivo garantizar la seguridad y el rendimiento de los deportistas, sobre la encuesta inicial se añadieron preguntas para conocer la percepción de los deportistas sobre ambos aspectos.

De los resultados de este estudio se observó que, además de la correlación entre la percepción de los deportistas y las propiedades de las pistas (reducción de fuerzas, fricción y bote vertical de pelota), existía correlación entre la percepción de rendimiento y seguridad y dichas propiedades (ver apartado 6.4.3).

La segunda fase de la validación tenía como objetivo establecer la influencia del calzado en la percepción de los deportistas con respecto a las propiedades de la superficie de juego. Existe un gran número de estudios que relacionan la interacción entre el calzado y el pavimento con el rendimiento de los deportistas y su riesgo de sufrir una lesión. Dichos estudios tienen una serie de aspectos en común: reproducen movimientos reales del deporte al que está destinado el pavimento y el calzado y utilizan diferentes tipos de calzado con el objetivo de comparar entre ellos e identificar cuál genera la interacción más adecuada con el pavimento (Galbusera et al., 2013; Gehring et al., 2008; Kaila, 2007; Kirk et al., 2007; Shorten & Himmelsbach, 2002; Torg et al., 1974b). En el caso de deportes como el fútbol, se suele comparar entre botas cuyas suelas presentan tacos en distinto número, configuración, forma o tamaño. En deportes como el tenis se han encontrado estudios que comparan la distancia deslizada por los jugadores durante la ejecución de un *drive* (golpe ejecutado con mayor frecuencia durante la práctica de este deporte) dependiendo de la composición de la tierra batida o del calzado utilizado (Damm et al., 2014; Dixon & Cooke, 2004; Ura et al., 2014).

En la misma línea, en esta tesis se diseñó un circuito que consideraba los movimientos más representativos durante la práctica del pádel: desplazamientos laterales y frontales y *split-step*. Se comparaba en primer lugar el rendimiento logrado por los deportistas con diferentes modelos de zapatillas según el tiempo invertido en la realización del circuito con cada uno de ellos.

Por otro lado, teniendo en cuenta que la amortiguación de impactos está principalmente relacionada con la seguridad (y en menor medida con el rendimiento), la simulación del remate tras un salto se efectuó fuera del circuito.

Tras la realización del circuito y de la simulación del remate con salto, los deportistas fueron entrevistados en relación con su percepción sobre la interacción entre el calzado y el pavimento tanto desde un punto de vista horizontal (fricción) como vertical (amortiguación de impactos). La correlación obtenida entre las características mecánicas del pavimento y la percepción de los deportistas corrobora que el circuito controlado era adecuado teniendo en cuenta los objetivos marcados, al igual que la correlación encontrada entre las propiedades de la pista y la percepción de rendimiento y seguridad (ver apartado 6.4.3).

La **selección del calzado** a utilizar para llevar a cabo esta segunda fase de la validación se realizó a partir de la opinión de un grupo de expertos que identificó los dos modelos de zapatillas del mercado con mejores prestaciones para la práctica del pádel desde el punto de vista del agarre y la capacidad de amortiguación de impactos y el modelo con peores propiedades para este deporte.

En la misma línea, la selección del calzado en estudios similares se llevó a cabo teniendo en cuenta la respuesta esperada de su interacción con el pavimento. En el caso de los deportes en los que se utiliza calzado con tacos (fútbol, rugby o fútbol americano), se seleccionaron botas con diferente número de tacos y con formas o tamaños distintos, esperando que su respuesta fuera diferente (Galbusera et al., 2013; Gehring et al., 2008; Shorten & Himmelsbach, 2002). Del mismo modo, en los estudios sobre *running*, la selección de las zapatillas se basó en su capacidad de amortiguación de impactos, seleccionando modelos que aportaran una reducción de fueras alta, media y baja (Frederick et al., 1984; Luethi et al., 1987).

En algunos de los estudios citados, la respuesta esperada era analizada desde el punto de vista mecánico mediante ensayos en laboratorio (Andreasson & Olofsson, 1983; Bobbert et al., 1992; Hopper et al., 2011; Nigg et al., 2003). En esta línea, durante el desarrollo de esta tesis, la valoración desde el punto de vista mecánico del comportamiento de las zapatillas seleccionadas frente a la fricción y la capacidad de amortiguación de impactos se basó en ensayos no normativos. Como se ha comentado en los apartados 4.4.2.3b, dichos ensayos no reproducen las fuerzas y velocidades propias de los movimientos efectuados por los deportistas durante la práctica del tenis y es posible que tampoco del pádel, aunque no existen estudios publicados sobre las fuerzas y velocidades propias de este deporte. En cualquier caso, los resultados han permitido validar las opiniones de los expertos, mostrando que el modelo que los deportistas habían identificado como peor presentaba valores de fricción más bajos y menor capacidad de amortiguación de impactos.

En concordancia con estos resultados, las respuestas ofrecidas por los deportistas tras realizar el circuito utilizando las zapatillas que presentaban menores coeficientes de fricción, indicaban que el agarre obtenido era deficiente. Sin embargo, ha de considerarse que el circuito fue realizado por deportistas semiprofesionales que posiblemente necesiten mayores requerimientos en la interacción entre el calzado y el pavimento en comparación con los *amateurs* (ver apartado 6.5.2.2); es decir, que este agarre deficiente es posible que no hubiera sido percibido de la misma manera por los deportistas amateurs, al realizar movimientos más lentos y con fuerzas aplicadas menores.

Por otro lado, cabe destacar que, si bien entre las zapatillas evaluadas el modelo que presentaba mayor coeficiente de fricción estático fue valorada como más adecuado desde el punto de vista del agarre, ello no implica que una mayor fricción sea más apropiada para la práctica deportiva. Debe considerarse que, si el valor de fricción aumenta en exceso, los deportistas pueden verse sometidos a

un agarre excesivo, cuyas consecuencias podrían verse acentuadas en el caso de los deportistas *amateurs* dada su menor capacidad de absorber las fuerzas generadas en la interacción a causa de su menor condición física para este tipo de movimientos. En esta línea se han encontrado estudios sobre calzado con diferente tipología de tacos que, a partir de los resultados de los ensayos mecánicos realizados, establecen una ordenación tanto desde el punto de vista del rendimiento que ofrecerían a los deportistas como de la seguridad, indicando aquellos que no serían recomendables para deportistas no experimentados dadas las elevadas cargas que efectúan (Galbusera et al., 2013; Kaila, 2007).

Para llevar a cabo el proceso de validación se contó con deportistas semiprofesionales, que detectaron diferencias entre los tres tipos de calzado utilizados. Dichas diferencias fueron acordes a los resultados de los ensayos mecánicos realizados de la siguiente forma:

- Percibieron como no adecuado el agarre generado por las zapatillas cuyo coeficiente de fricción estático medido era menor.
- Percibieron menor amortiguación en la interacción entre el calzado y el pavimento en aquellos casos en los que utilizaron el modelo de zapatilla que ofreció como resultado una rigidez mayor.

El cálculo del **número de deportistas** que debían participar en el estudio se basó en las ecuaciones para el cálculo del tamaño muestral atendiendo al coeficiente de correlación entre las propiedades mecánicas y la percepción de los deportistas (Vallejo, 2012). Según distintos estudios publicados (Witana et al., 2009; Young et al., 2004), el coeficiente de correlación (r) entre propiedades mecánicas de elementos como el pavimento deportivo o el calzado y la percepción de los usuarios en el caso de deportistas experimentados se encuentra alrededor de 0.8. Esta mayor correlación significa que son capaces de percibir con mayor precisión las diferencias mecánicas entre productos, lo que permitirá una validación más ajustada de los valores de referencia.

Dado que el objetivo de la validación sobre circuito controlado era identificar si los deportistas percibían diferencias en la interacción entre el césped artificial y el calzado utilizando diferentes tipos de calzado, era imprescindible contar con deportistas con una mayor experiencia, capaces de detectar con mayor precisión las diferencias entre las distintas zapatillas utilizadas.

La correlación encontrada entre la percepción de los deportistas y las propiedades de la superficie y del calzado indica que tanto la selección de los deportistas como el tamaño de muestra fueron adecuados.

6.4.3. Valores de referencia identificados

Los resultados obtenidos han permitido establecer los valores de referencia de la **reducción de fuerzas** entre 15 y 21 %, atendiendo a la opinión de los deportistas. Según la norma técnica vigente (UNE-EN 15330-1), la reducción de fuerzas de las superficies de césped artificial destinadas a la práctica del tenis debe estar entre 15 y 34 %. Sin embargo, los deportistas entrevistados opinaron que una reducción de fuerzas por encima del 21 % era excesiva, por lo que se identificó este valor como límite superior.

En este sentido, en relación con el límite inferior, aunque a priori el tenis es el deporte más próximo al pádel desde el punto de vista de su práctica, se ha demostrado que en el pádel se producen mayor número de saltos (García Acedo & Ares Bella, 2007; Hughes & Clarke, 1995; O'Donoghue & Ingram, 2001), lo que provoca sollicitaciones más elevadas en el sistema musculoesquelético de los deportistas. Por tanto, los pavimentos de pádel deberían presentar mayor capacidad de amortiguación de impactos.

Sin embargo, los deportistas *amateurs* determinaron durante el proceso de identificación de los valores de referencia que un valor del 15 % de reducción de fuerzas era adecuado, resultado que se corroboró a posteriori durante la validación tras la disputa de un partido. El motivo de que los deportistas identificaran este valor de amortiguación de impactos como adecuado puede ser debido a que, al tratarse de deportistas *amateurs*, la frecuencia de realización del movimiento saltos con remate fuera menor dada la complejidad de dicho movimiento (Cometti et al., 2001; Gorostiaga et al., 2005; Knechtle et al., 2010).

Existen estudios que demuestran que los movimientos realizados por deportistas de diferente categoría durante la práctica de una misma disciplina deportiva son distintos. En esta línea Nigg (1989) demostró la dependencia del modo en que se desplazaban los tenistas dependiendo de su categoría de juego; mientras que los deportistas *amateurs* realizaban la mayoría de los desplazamientos andando, corriendo o saltando, los profesionales deslizaban en la mayoría de los casos. Por tanto, existía la posibilidad de que este valor mínimo de absorción de impactos no fuera el adecuado para jugadores de mayor nivel.

Sin embargo, en el proceso de validación mediante circuito controlado, en el que participaron deportistas semiprofesionales, se identificó que valoraban de forma diferente la pista desde el punto de vista de la capacidad de reducción de fuerzas de impacto dependiendo de las propiedades de amortiguación del calzado utilizado. En este sentido, todos los deportistas afirmaron que preferirían que el pavimento amortiguara más cuando realizaron el circuito utilizan-

do el modelo de zapatilla que presentó valores más altos de rigidez, mientras que en los otros dos modelos la mayoría de los deportistas indicaron que la dureza de la pista era apropiada. Dado que la reducción de fuerzas del pavimento sobre el que se realizó la validación era del 17%, se ratificó como adecuado el límite inferior de reducción de fuerzas en el 15%.

Cabe recordar que el cuerpo humano cuenta con mecanismos naturales para amortiguar los impactos producidos durante la carrera o el salto, como aumentar la velocidad de flexión de rodilla cuando los niveles de absorción de impactos son menores (Frederick et al., 1983; Wright et al., 1998) y el ángulo de flexión de la misma (Bobbert et al., 1992; De Wit & De Clercq, 1997), incrementando el coste energético del movimiento y la fatiga (Frederick et al., 1983). Por tanto, es posible que los deportistas semiprofesionales que participaron en la etapa de validación del circuito controlado recurrieran a estos mecanismos naturales para amortiguar los niveles de impacto generados en la simulación del salto dada su elevada forma física y la poca exigencia del circuito. Sin embargo, aunque los parámetros relacionados con ángulos y tiempos de flexión, etc., no fueron evaluados durante la fase de validación de los valores de referencia, se considera que su medición aportaría información que complementaría la obtenida del análisis de la percepción de los deportistas a fin de identificar el efecto que las diferencias en las propiedades del conjunto calzado-pavimento tienen sobre los patrones de movimiento de los deportistas.

Finalmente, debe considerarse que durante la realización de esta tesis se han detectado pistas con unos valores de reducción de fuerzas muy bajos (6 - 9%), lo que implica un riesgo elevado para la seguridad de los deportistas (Bahr & Krosshaug, 2005; Cook et al., 1990; Jones, 1983; Macera, 1992; Schweltnus et al., 1990). Es sabido que el uso y los agentes meteorológicos provocan una compactación del material de relleno que reduce la capacidad del césped artificial de amortiguar los impactos generados durante el juego, aumentando el riesgo de lesión y la altura alcanzada por la pelota tras impactar con el pavimento. Sin embargo, teniendo en cuenta las características de las pistas seleccionadas para el estudio, no es posible realizar una estimación del efecto que el uso o el mantenimiento pueden tener sobre esta propiedad atendiendo a la tipología de la fibra, el espesor del relleno, etc., lo que debería ser objeto de estudios futuros.

En superficies de césped artificial para fútbol o rugby existen productos que cuentan con una capa elástica que provoca que, aunque se produzca una compactación del material de relleno, el pavimento deportivo cuente con un mínimo de amortiguación de impactos y, por tanto, lo convierte en más seguro a lo largo del tiempo. Sin embargo, dado que la capa elástica se coloca debajo de la moque-

ta de césped, ésta no tiene efecto sobre el bote del balón ya que la carga aplicada por el mismo no es suficientemente grande para que sea transmitida a través de todo el espesor de relleno. En la actualidad no existe en el mercado ninguna solución en esta línea para la práctica del pádel, lo que podría ser de gran interés dada la facilidad con que se compacta la arena que conforma el relleno de este tipo de pavimentos y la dificultad de las tareas de mantenimiento a llevar a cabo para su descompactación. Por tanto, los valores de amortiguación de impactos fijados como adecuados son entre 15 y 21%, ya que fueron los límites indicados por la mayoría de deportistas *amateurs* y semiprofesionales.

Cabe destacar que no se ha detectado correlación entre la percepción de dureza de la pista y la percepción de seguridad de los deportistas. Como se ha señalado en el estado del arte, la baja capacidad de amortiguación de impactos se relaciona con dolores articulares (principalmente de rodilla) y roturas óseas (problemas que es probable que el deportista no relacione con la práctica deportiva sobre superficies duras) o artritis (lesión que ocurre a largo plazo y que es posible que tampoco se relacione con el deporte practicado). Por este motivo, pese a que los deportistas no relacionan los conceptos de seguridad y dureza de la pista debido a que las lesiones no se producen durante el desarrollo de juego (Hoeberigs, 1992; Jones, 1983; Macera, 1992; Radin et al., 1973; Radin et al., 1972), si existiría relación entre ambos aspectos.

En el caso de la **fricción**, la identificación del valor mínimo no resultó evidente inicialmente por la propia naturaleza de las pistas estudiadas. Entre éstas no se contaba con valores de fricción entre 75 y 95, por lo que se detectó una pérdida de información (ver apartado 6.2.1). Ello se debió a que la selección de las pistas se basó en la pérdida de propiedades que supone el uso y la acción de los agentes meteorológicos, y no en la búsqueda de pistas con unas propiedades concretas. Teniendo en cuenta que la ubicación era prácticamente la misma y que el uso era similar, se tomó como referencia la fecha de instalación. Y dado que a priori no se conoce con exactitud el efecto de los diferentes agentes sobre las propiedades del césped dependiendo de su tipología, no fue posible predecir el comportamiento que iban a presentar. En este sentido, debido a que la tipología de césped de las tres pistas era diferente, no fue posible llevar a cabo tareas de identificación del efecto que el uso y los agentes meteorológicos tienen sobre la pérdida de propiedades del césped artificial para pádel. Para ello, sería necesario planificar un análisis pormenorizado de las tipologías de césped artificial que se instalan actualmente para la práctica del pádel, controlar su uso, el mantenimiento llevado a cabo, los agentes meteorológicos, etc., quedando ese estudio fuera del alcance de esta tesis doctoral.

La norma técnica vigente que regula las propiedades de las superficies de césped artificial destinadas a la práctica del tenis (UNE-EN 15330-1:2014) indica que la fricción de estas superficies debe encontrarse entre 55 y 110. Sin embargo, como se ha comentado, una de las principales diferencias entre el tenis y el pádel, en lo que se refiere a los movimientos de los deportistas, es que durante la práctica del primero se realizan gran parte de los desplazamientos deslizando, algo que no ocurre en el pádel (El gran paso, del jugador de tenis al de pádel, n.d.; Martínez, 2013). Por tanto, un valor de fricción de 55 sería demasiado bajo considerando los requerimientos de esta disciplina deportiva. Y así lo corroboran los jugadores que participaron en el estudio, que indicaron que un valor de fricción de 75 era deficiente. Por ello, el mínimo valor aplicable en el caso del tenis no sería adecuado para la práctica del pádel y así lo ratifican los jugadores entrevistados.

No obstante, el hecho de no contar en el estudio con pistas entre 75 y 95 no permitió fijar el valor mínimo de fricción percibido como adecuado por los deportistas. Los resultados de las encuestas señalaron que 75 era deficiente y 95 adecuado, pero no fue posible determinar el valor mínimo adecuado desde el punto de vista subjetivo. Por ello, para llevar a cabo el proceso de validación se seleccionó una pista con un valor de fricción de 80, que fue valorado por la mayoría de los deportistas como adecuado durante la validación tras disputar un partido. Por tanto, el valor de referencia mínimo para las pistas de pádel de césped artificial se fijó en 80.

En el proceso de validación en circuito controlado (realizado sobre una pista cuyas propiedades se encontraban dentro de los valores de referencia identificados como adecuados por los deportistas), los resultados demostraron que el valor de fricción de 98 era adecuado para la mayoría de los deportistas cuando utilizaban el calzado con mayores valores de fricción medidos mediante ensayos mecánicos. Las diferencias detectadas entre la percepción de los deportistas utilizando los distintos modelos de calzado eran mayores en el agarre lateral que en el frontal, detectándose estas diferencias también en los ensayos mecánicos.

Desde el punto de vista del rendimiento, los resultados del estudio demostraron que no existían diferencias significativas entre el tiempo invertido en realizar el circuito por los deportistas utilizando los diferentes modelos de zapatillas del estudio (ver apartado 5.4.2.3b). Sin embargo, los jugadores sí detectaron diferencias entre el rendimiento percibido al utilizar los distintos modelos de calzado. Se estableció una correlación entre la percepción de rendimiento y la de fricción en el agarre frontal y lateral, siendo esta correlación más elevada en el segundo caso, lo que se podría relacionar con los resultados

de los ensayos mecánicos de fricción realizados sobre las zapatillas, ya que las diferencias observadas entre los diferentes modelos eran mayores en el caso de la fricción lateral.

La no identificación de diferencias en el tiempo invertido por los deportistas habiéndose detectado diferencias en la fricción del calzado y en la percepción de rendimiento de los deportistas puede estar provocando que estos realicen un mayor esfuerzo para alcanzar el máximo rendimiento con zapatillas cuyo coeficiente de fricción es menor y, por tanto, les cueste más realizar los movimientos, lo que podría aumentar el riesgo de lesión (Cawley et al., 2003; De Clercq et al., 2014; Kirk et al., 2007; Schrier et al., 2014). En este sentido, se ha encontrado una correlación entre la percepción de seguridad y la de fricción, principalmente lateral; una percepción de menor seguridad se relacionó con un peor agarre percibido por los deportistas. Sin embargo, alcanzar conclusiones en esta línea pasaría por realizar ensayos biomecánicos que permitieran conocer los rangos de movilidad del miembro inferior (mediante fotogrametría) y la tensión muscular generada en cada movimiento (mediante electromiografía).

Los resultados obtenidos de esta validación corroboran lo expuesto en el capítulo relativo al estado del arte (ver apartado 2.6.3) en el sentido de que no existe homogeneidad en las propiedades de las zapatillas destinadas a la práctica del pádel, lo que puede suponer un riesgo para la salud de los deportistas.

En el caso de los deportistas semiprofesionales, la valoración realizada sobre la pista ha dependido de las características de la suela de las zapatillas utilizadas, lo que puede deberse a que las mayores exigencias de este grupo de deportistas sobre la interacción entre el calzado y el pavimento hagan más patentes las diferencias existentes entre las suelas de los distintos modelos de calzado. En el caso de los deportistas *amateurs*, no se han evaluado las propiedades mecánicas de sus zapatillas, por lo que no es posible identificar si las diferencias de percepción entre jugadores eran debidas a las mismas.

La identificación del valor de referencia máximo de fricción presentó la misma problemática: ninguna de las pistas evaluadas presentaba valores de fricción superiores a 97. En el caso del tenis, la norma técnica vigente fija la fricción máxima en 110. Desde el punto de vista de la seguridad de los deportistas, valores de fricción elevados se relacionan con mayor número de lesiones y dolor articular en los estudios publicados sobre tenis. En la misma línea, la norma técnica que regula los pavimentos deportivos *indoor* (UNE-EN 14904), en los que se practican deportes como el baloncesto o el bádminton que al igual que el pádel requieren de paradas laterales, también fija el valor máximo de fricción en 110. Por tanto, teniendo en cuenta que los deportistas identifi-

can 95 como una fricción adecuada y que no se cuentan con datos sobre la fricción que es percibida como excesiva por los deportistas, se estableció en 110 el valor máximo de fricción, teniendo en cuenta que sería necesario validar este valor por parte de jugadores de pádel.

Por último, el **bote vertical de pelota** identificado como adecuado por los deportistas entrevistados se encuentra entre 94 y 96%, si bien, como se ha destacado en el apartado 6.2.1, todas las pistas evaluadas se encontraban entre 92 y 98%, siendo la variabilidad entre pistas muy reducida debido al criterio de selección seguido.

En el caso del césped artificial para tenis, la norma técnica vigente (UNE-EN 15330-1) indica que el bote de la pelota debe ser mayor de 80%. Sin embargo, aunque el rango obtenido para pádel (entre 93 y 97%) estaría dentro de lo establecido para tenis, los resultados logrados señalan que los deportistas entrevistados perciben el bote por debajo de 94% deficiente y por encima de 97% excesivo, resultado que se corroboró durante el proceso de validación tras la disputa de un partido. Por ello se fijó este rango como adecuado para el bote vertical de pelota.

6.5. Situación de las pistas evaluadas tras la validación de los valores de referencia

Tras la validación de los valores de referencia, se detectó que de las 11 pistas utilizadas en el proceso de identificación de los valores de referencia (fase 2), únicamente 4 pistas (el 36.4%) estarían dentro de los rangos establecidos como adecuados atendiendo a la percepción y preferencia de los deportistas.

Sirva esto como primera aproximación dado que debe tenerse en cuenta que la finalidad del estudio no era identificar el estado actual de las pistas de pádel de césped artificial. En el caso de que éste hubiera sido el objetivo, la selección de las pistas se habría realizado a partir de un análisis de la población objeto de estudio y un cálculo de la muestra necesaria para ser representativa, como hizo Burillo en su tesis doctoral sobre el estado de los campos de fútbol de césped artificial en Castilla-La Mancha y la satisfacción de los usuarios (Burillo, 2009).

El objetivo de la selección de las pistas era contar con superficies con propiedades muy diferenciadas. De antemano se conocía que el efecto del uso y los agentes meteorológicos era una disminución de la capacidad de amortiguación de impactos (debido a la compactación del material de relleno), un aumento de la resbaladidad o disminución del agarre (debido a la disminución de la

longitud de la fibra y la aparición en la superficie de partículas de arena) y un aumento del bote de la pelota (debido a la disminución de la capacidad de amortiguar el impacto de la pelota).

Sin embargo, durante el proceso de selección no se consideró la tipología de césped instalado en las pistas puesto que se desconoce cómo se produce la pérdida de propiedades del césped artificial para pádel atendiendo a la forma de la fibra, el material o el tipo de césped (fibrilado/monofilamento). De esta manera, si bien el estudio realizado no ha permitido obtener conclusiones a este respecto, sí se observó que aquellas pistas instaladas en fechas anteriores presentaron una capacidad de reducción de impactos menor, propiedad que depende íntegramente del material de relleno puesto que ninguna de las pistas contaba con capa elástica.

Por otro lado, la fricción no depende tanto del material de relleno sino de la fibra. En este sentido, se observó que las pistas correspondientes a la instalación B, pese a haber sido instaladas con anterioridad a las pistas de la instalación C y, por tanto, haber sido más usadas, presentaban mayores valores de fricción (mayor agarre). La diferencia entre la pista B y la pista C radicó en la forma de la fibra (la primera era cóncava y la segunda plana), lo que pudo afectar al agarre de la pista. Sin embargo, no se generó información que permitiera alcanzar conclusiones al respecto.

En el caso de las pistas correspondientes a la instalación A, además de contar con césped monofilamento, el espesor del relleno alcanzaba valores del 98% con respecto a la longitud de la fibra, lo que pudo provocar que se encontraran partículas de arena sueltas sobre la superficie, aumentando su resbaladidad.

Pese a todo lo comentado, debe tenerse en cuenta que, debido a que en el momento de fabricación e instalación de las pistas de pádel evaluadas no se contaba con criterios de evaluación y conocimiento sobre en qué rango debían encontrarse las diferentes propiedades analizadas, se desconocían sus propiedades iniciales. Desde el punto de vista de la reducción de fuerzas es previsible que fueran similares (ya que contarían con espesores de relleno similares y la tipología de la fibra tiene un efecto reducido sobre los niveles de impacto provocados por el ensayo realizado para la evaluación de dicha propiedad); sin embargo, desde el punto de vista de la fricción y del bote de pelota, se desconoce si ha existido tal pérdida de propiedades o en el momento de la instalación ya se encontraban fuera de los valores de referencia identificados.

Por otro lado, se añade el desconocimiento existente sobre los criterios a seguir para realizar un mantenimiento adecuado sobre este tipo de superficies.

Si bien se ha publicado información al respecto (Consejo Superior de Deportes, 2012a), es todavía muy general y no se ajusta a todas las tipologías de césped, usos y climatologías, aspectos que tienen una gran influencia tanto sobre las propiedades del pavimento como sobre la pérdida de las mismas (Alcántara et al., 2009; Franco, 2008).

6.6. Desarrollo de la propuesta de norma técnica

Siguiendo el esquema de las normas técnicas que regulan las propiedades de los pavimentos deportivos, en el desarrollo de la propuesta de norma técnica para regular los pavimentos deportivos de césped artificial se incluyó, además de los aspectos relativos a la función deportiva identificados en el desarrollo de esta tesis doctoral, aquellos otros aspectos relativos a la función técnica de este tipo de superficies (ver apartado 2.7.2.3).

En este sentido, la norma técnica que regula las propiedades de los pavimentos deportivos de césped artificial (UNE-EN 15330-1) incluye para todos los deportes a los que aplica (fútbol, hockey, rugby y tenis) los mismos ensayos desde el punto de vista de la función técnica: resistencia a tracción de la moqueta de césped artificial, resistencia a tracción de la fibra, resistencia al envejecimiento artificial, resistencia de las juntas, resistencia al arranque de la fibra y permeabilidad. Además, los requisitos exigidos son también idénticos, independientemente de la disciplina deportiva a la que estén destinados. Por este motivo, la propuesta de norma técnica resultado de esta Tesis Doctoral (Anexo V) incluye los mismos ensayos para evaluar la función técnica que la norma citada.

Finalmente, la propuesta de norma, al igual que en el caso del documento UNE-EN 15330-1, adjunta anexos relativos a las zonas a ensayar sobre las pista, los ensayos a llevar a cabo para la identificación del producto y recomendaciones sobre el mantenimiento a practicar sobre este tipo de superficies.

Capítulo 7

Conclusiones

Resumen del capítulo:

En este capítulo se recogen las principales conclusiones obtenidas en el desarrollo de esta tesis. Se señalan las aportaciones introducidas y las limitaciones encontradas y se enumeran posibles desarrollos futuros que superen dichas limitaciones y continúen la línea de investigación aquí presentada.

7.1. Conclusiones de los resultados

Como conclusión global de esta tesis cabe destacar el **desarrollo de un protocolo de ensayo incluido en un proyecto de norma** para la **regulación** de las propiedades de los **pavimentos deportivos** de césped artificial destinados a la práctica del **pádel**.

Además de esta conclusión global, se han obtenido las conclusiones parciales expuestas a continuación.

1. Se ha avanzado en conocimiento sobre el juego del pádel desde el punto de vista de la cuantificación de los movimientos y los golpes de pelota más frecuentes durante su práctica.

- Se ha identificado que los movimientos más frecuentes son los **desplazamientos laterales y frontales**, seguidos del **split-step**. Los movimientos que los deportistas realizan con una menor frecuencia son los **saltos con remate**, los **desplazamientos hacia atrás** y los **giros** sobre un punto de apoyo (generalmente el antepié).
- Se han detectado como golpes de pelota más frecuentes el **globo** y la **volea**.

2. Se ha analizado la relevancia de estos movimientos y golpes teniendo en cuenta tanto su frecuencia como su efecto sobre la seguridad y el rendimiento de los deportistas.

- Se ha detectado que los **movimientos más relevantes** son los **desplazamientos laterales y frontales** debido a su elevada frecuencia y su influencia sobre el rendimiento y la seguridad de los deportistas.
- En **segundo lugar**, se identifican los **split-steps** y los **saltos con remate** como relevantes teniendo en cuenta la frecuencia del primero y el efecto que sobre la seguridad de los jugadores tiene el segundo desde el punto de vista de los impactos a los que se somete su sistema musculoesquelético tras un salto.
- Y **por último**, con una baja frecuencia y reducido efecto sobre la seguridad y el rendimiento, se sitúan los **giros** y los **desplazamientos hacia atrás**.
- En relación con los **golpeos**, tanto el **globo** como la **volea** se han considerado **relevantes** desde el punto de vista del **rendimiento** de los deportistas. Su relación con la **salud** dependerá de la **técnica** de los deportistas en la **ejecución del golpe**.

3. El trabajo desarrollado ha permitido identificar los **ensayos normativos** a llevar a cabo para la **evaluación** de los **pavimentos** de césped artificial para **pádel** atendiendo a los movimientos y a los golpes detectados como relevantes.
4. A partir de los ensayos normativos identificados y la valoración subjetiva de los deportistas se han podido definir los **valores de referencia de las propiedades de las superficies de césped artificial destinadas al pádel**, estableciéndose como **adecuados valores de reducción de fuerzas entre 15 y 21%, fricción entre 80 y 110 y bote vertical de pelota entre 93 y 98%**.
5. Se ha detectado una **alta correlación** entre la **percepción de dureza** de los deportistas y la **reducción de fuerzas** medida sobre las pistas de pádel, al igual que en el caso de la **resbaladidad** y la **fricción** medida y el **bote de pelota** percibido y el **bote vertical** medido.
6. Se ha encontrado la existencia de **correlación** entre la **percepción de fricción** y la **seguridad y rendimiento** percibidos por los deportistas. Sin embargo, no se ha detectado correlación entre estos parámetros y la dureza percibida.
7. Por otro lado, se ha detectado que los **modelos de zapatilla peor valorados** por los deportistas presentan suelas con **menor coeficiente de fricción estático** y **mayor rigidez** que aquellas que los deportistas identifican como mejores para la práctica del pádel.
8. Se ha evidenciado el **efecto** que el **coeficiente de fricción estático** y la **rigidez** de la **suela del calzado** tienen sobre la **percepción** de los **deportistas** en relación con su interacción con la superficie de juego. Durante la realización de movimientos con el **calzado no adecuado** los deportistas perciben **menor seguridad y peor rendimiento** que al realizarlos utilizando el calzado con coeficientes de fricción estático mayor y rigidez menor.

7.2. Conclusiones metodológicas

La metodología seguida resulta adecuada atendiendo a la correlación obtenida entre la percepción de los deportistas y los resultados de los ensayos mecánicos durante la fase de validación de los mismos.

En esta metodología destaca la detección de los conceptos con los que los deportistas relacionan las propiedades de los pavimentos deportivos, lo que permite su uso en el análisis de las propiedades que deben ofrecer otros pavimentos deportivos desde el punto de vista de su interacción con el deportista.

Por otro lado, dicha correlación valida también el uso de metodologías de ensayo de acuerdo a la normativa vigente como un adecuado predictor de la percepción de los deportistas con respecto a su interacción con el pavimento.

Con todo ello, la metodología de diseño orientada al usuario utilizada en el desarrollo de la tesis ha resultado útil y se muestra como útil para la identificación de criterios de aceptación y rechazo de productos desde el punto de vista subjetivo.

Desde el punto de vista del análisis del calzado, la metodología empleada para la evaluación de sus propiedades ha resultado adecuada teniendo en cuenta su correlación con la percepción de los deportistas.

7.3. Limitaciones del estudio

Las escasas publicaciones en relación con el deporte del pádel han sido una limitación para la realización de esta investigación prenortativa que, en muchas ocasiones, ha tenido que remitirse a estudios sobre tenis como deporte, a priori, más próximo. En primer lugar, solamente se ha publicado un estudio epidemiológico que no cuenta con suficiente nivel de detalle para identificar la relación que pudiera existir entre el pavimento utilizado y las lesiones de miembro inferior detectadas en los deportistas. En este sentido, no se han encontrado estudios relacionados con las fuerzas en juego y las velocidades de ejecución de los diferentes gestos durante la práctica de este deporte, lo que hubiera permitido una mejor interpretación de los resultados y la validación de los ensayos normativos adecuados para la evaluación de superficies destinadas a este deporte.

Por otro lado, como se ha expuesto en el capítulo relativo a la Discusión, entre las pistas seleccionadas se ha detectado la ausencia de valores de las propiedades de fricción y bote vertical de pelota en ciertos rangos, lo que habría permitido fijar los límites entre los que deberían encontrarse dichas propiedades durante la fase de identificación de los valores de referencia. La definición de los rangos habría sido posiblemente más precisa si se hubiera contado con mayor abanico de datos en estas dos propiedades, como ocurrió en el caso de la reducción de fuerzas. En los casos en los que no ha sido posible superar esta limitación durante la fase de validación, se ha recurrido a normas técnicas que regulan pavimentos destinados a otras disciplinas deportivas para la definición de dichos rangos.

Cabe destacar que los ensayos de validación en circuito controlado se realizaron con deportistas semiprofesionales que percibieron diferencias en la inter-

acción calzado-pavimento al utilizar distintos modelos de zapatillas. Ello genera un sesgo en la información que no permite identificar si en el caso de los deportistas *amateurs* este efecto se produciría o las fuerzas y las velocidades aplicadas por estos últimos no son suficientemente elevadas para generar diferencias independientemente del modelo de zapatilla.

La información aportada a partir de la medición de variables biomecánicas (velocidad de realización de los gestos, fuerzas aplicadas, ángulos de flexión de rodilla, etc.) habrían aportado mayor información para interpretar las diferencias identificadas entre la percepción de los deportistas *amateurs* y semiprofesionales o utilizando diferente calzado dentro de este segundo grupo.

Por último, los criterios de aceptación y rechazo de las propiedades que conforman la función técnica de los pavimentos de césped artificial para pádel se han basado en las normas técnicas que regulan este tipo de pavimentos para la práctica del tenis, debido al desconocimiento existente sobre los requerimientos específicos del primero en relación, principalmente, con las fuerzas aplicadas por los deportistas. Además, ha de destacarse que no se ha incluido un ensayo para el análisis del efecto del uso sobre este tipo de superficies puesto que en la actualidad no existe ninguna norma técnica que regule la metodología de desgaste de pavimentos de césped artificial que incluya material de relleno y sobre los que se practique una disciplina que no requiera calzado con tacos.

7.4. Futuras líneas de trabajo

Tras analizar la discusión de los resultados obtenidos y las conclusiones extraídas de la presente tesis doctoral, las áreas de trabajo que se proponen como continuación de la línea de investigación presentada son las siguientes:

- Realizar estudios epidemiológicos que permitan identificar la relación entre la interacción entre el calzado y el pavimento, y las lesiones sufridas por los jugadores de pádel.
- Analizar las fuerzas y velocidades en juego durante la práctica del pádel tanto por deportistas profesionales como *amateurs*.
- Validar que los límites fijados a partir de normas técnicas que regulan las propiedades de pavimentos destinados a otras disciplinas deportivas son adecuadas para la práctica del pádel.
- Identificar si las fuerzas y velocidades generadas por ambos grupos de jugadores requieren de pavimentos deportivos o zapatillas con propiedades diferentes.

- Analizar el efecto del uso, los agentes meteorológicos y el mantenimiento sobre las propiedades del césped artificial para pádel atendiendo a su tipología.
- Trabajar en la definición de criterios de diseño de las suelas de zapatillas específicas para la práctica del pádel sobre césped artificial.
- Definir metodologías de ensayo para la evaluación mecánica de la interacción entre el calzado y el pavimento de césped artificial (teniendo en cuenta las fuerzas y velocidades aplicadas durante el juego del pádel) así como los criterios de aceptación y rechazo.
- Validar los límites fijados en el proyecto de norma para aquellas propiedades relacionadas con la función técnica del césped artificial, teniendo en cuenta los requerimientos específicos del pádel.
- Desarrollar una metodología de desgaste de los pavimentos de césped artificial que incluyan material de relleno utilizados para la práctica de disciplinas deportivas que no requieren calzado con tacos.

Bibliografía

1. Addison, B. J., & Lieberman, D. E. (2015). Tradeoffs between impact loading rate, vertical impulse and effective mass for walkers and heel strike runners wearing footwear of varying stiffness. *Journal of Biomechanics*, *48*(7), 1318–1324.
2. AEN - CTN59. (2015). <http://www.aenor.es/aenor/normas/ctn>.
3. AEN - CTN147. (2015). <http://www.aenor.es/aenor/normas/ctn>.
4. AENOR. (2015). Retrieved from <http://www.aenor.es/aenor/normas>
5. AENOR (2015). http://www.aenor.es/aenor/aenor/en_el_mundo.
6. Aerts, P., & Clercq, D. D. (1993). Deformation characteristics of the heel region of the shod foot during a simulated heel strike: the effect of varying midsole hardness. *Journal of Sports Sciences*, *11*(5), 449–461.
7. Alcántara, E., Gámez, J., Rosa, D., & Sanchis, M. (2009). Analysis of the influence of rubber infill morphology on the mechanical performance of artificial turf surfaces for soccer. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, *223*(1), 1–9.
8. Allen, T., Haake, S., & Goodwill, S. (2010). Effect of friction on tennis ball impacts. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, *224*(3), 229–236.
9. Amieba, C., & Martín, J. J. S. (2013). Aspectos generales de la competición del pádel y sus demandas fisiológicas. *AGON*, *3*(2), 60–67.
10. Andreasson, G., & Olofsson, B. (1983). Surface and shoe deformation in sport activities and injuries. *Biomechanical Aspects of Sport Shoes and Playing Surfaces*, 55–61.
11. Asai, T., Carré, M. J., Akatsuka, T., & Haake, S. J. (2002). The curve kick of a football I: impact with the foot. *Sports Engineering*, *5*(4), 183–192.
12. Bahr, & Holme. (2003). Risk factors for sports injuries—a methodological approach. *British Journal of Sports Medicine*, *37*(5), 384–392.
13. Bahr, (primero), & Krosshaug. (2005). Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *British Journal of Sports Medicine*, *39*(6), 324–329.
14. Baroud, G., Nigg, B. M., & Stefanyshyn, D. (1999). Energy storage and return in sport surfaces. *Sports Engineering*, *2*(3), 173–180.
15. Barquín, R. R., & García, O. L. (2008). Características psicológicas en los jugadores de pádel de alto rendimiento. *Revista Iberoamericana de Psicología Del Ejercicio Y El Deporte*, *3*(2), 183–199.

16. Barrett, J. R., Tanji, J. L., Drake, C., Fuller, D., Kawasaki, R. I., Fenton, R. M., & others. (1993). High-versus low-top shoes for the prevention of ankle sprains in basketball players. A prospective randomized study. *The American Journal of Sports Medicine*, 21(4), 582–585.
17. Barry, B., & Milburn, P. (2013). Tribology, friction and traction: understanding shoe-surface interaction. *Footwear Science*, 5(3), 137–145.
18. Baxter-Jones, A., Maffulli, N., & Helms, P. (1993). Low injury rates in elite athletes. *Archives of Disease in Childhood*, 68(1), 130–132.
19. Bergmann, G., Kniggenndorf, H., Graichen, F., & Rohlmann, A. (1995). Influence of shoes and heel strike on the loading of the hip joint. *Journal of Biomechanics*, 28(7), 817–827.
20. Bishop, D. (2003). A comparison between land and sand-based tests for beach volleyball assessment. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 43(4), 418–423.
21. Blanco, Á. B., Sanz, B. U., & Vallejo, P. M. (2003). *Construcciones de escalas de actitudes tipo likert*. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=298128>
22. Bobbert, M. F., Schamhardt, H. C., & Nigg, B. M. (1991). Calculation of vertical ground reaction force estimates during running from positional data. *Journal of Biomechanics*, 24(12), 1095–1105.
23. Bobbert, M. F., Yeadon, M. R., & Nigg, B. M. (1992). Mechanical analysis of the landing phase in heel-toe running. *Journal of Biomechanics*, 25(3), 223–234.
24. Boling, M., Padua, D., Marshall, S., Guskiewicz, K., Pyne, S., & Beutler, A. (2010). Gender differences in the incidence and prevalence of patellofemoral pain syndrome. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(5), 725–730.
25. Bower, R., & Cross, R. (2005). String tension effects on tennis ball rebound speed and accuracy during playing conditions. *Journal of Sports Sciences*, 23(7), 765–771.
26. Bowers Jr, K. D., & Martin, R. B. (1973). Impact absorption, new and old AstroTurf at West Virginia University. *Medicine and Science in Sports*, 6(3), 217–221.
27. Brody, H. (2010). *Tennis science for tennis players*. University of Pennsylvania Press. ISBN 978-0-8122-1238-9.
28. Brown, E., & O'Donoghue, P. G. (2008). Gender and surface effect on elite tennis strategy. *ITF Coach Sport Sci Rev*, 46(12), 9–12.

29. Burdett, R. G. (1981). Forces predicted at the ankle during running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(4), 308–316.
30. Burillo, P. (2009). *Los campos de fútbol de césped artificial en Castilla-La Mancha. Hacia un modelo de seguridad, funcionalidad deportiva y satisfacción de los usuarios*. Tesis doctoral. Universidad de Castilla La Mancha.
31. Burillo, P. (2010). *El césped artificial: la revolución del pavimento en el fútbol*. Instituto de Biomecánica de Valencia. ISBN 8495448238.
32. Caine, D. J., Harmer, P., & Schiff, M. (2009). *The Encyclopaedia of Sports Medicine: An IOC Medical Commission Publication, Epidemiology of Injury in Olympic Sports* (Vol. 16).
33. Carré, M. J., Asai, T., Akatsuka, T., & Haake, S. J. (2002). The curve kick of a football II: flight through the air. *Sports Engineering*, 5(4), 193–200.
34. Carré, M. J., Goodwill, S. R., & Haake, S. J. (2004). Understanding the aerodynamics of a spinning soccer ball. In *The 5th international conference on the engineering of sport* (Vol. 1, pp. 70–76). International Sports Engineering Association.
35. Casper, J. M., Gray, D. P., & Stellino, M. B. (2007). A sport commitment model perspective on adult tennis players' participation frequency and purchase intention. *Sport Management Review*, 10(3), 253–278.
36. Castellote, M. (2005). *Pádel, un gran deporte*. Bullpadel. EAN 978-8460985624.
37. Cavanagh, P. R. (1980). *The running shoe book*. Anderson World. ISBN-10: 0890371822.
38. Cavanagh, P. R., & LaFortune, M. A. (1980). Ground reaction forces in distance running. *Journal of Biomechanics*, 13(5), 397–406.
39. Cawley, P. W., Heidt, R. S., Scranton, P. E., Losse, G. M., & Howard, M. E. (2003). Physiologic axial load, frictional resistance, and the football shoe—surface interface. *Foot & Ankle International*, 24(7), 551–556.
40. CEN. (2015). Retrieved from <https://www.cen.eu/about/Pages/default.aspx>.
41. Chaouachi, A., Brughelli, M., Levin, G., Boudhina, N. B. B., Cronin, J., & Chamari, K. (2009a). Anthropometric, physiological and performance characteristics of elite team-handball players. *Journal of Sports Sciences*, 27(2), 151–157.

42. Chaouachi, A., Brughelli, M., Levin, G., Boudhina, N. B. B., Cronin, J., & Chamari, K. (2009b). Anthropometric, physiological and performance characteristics of elite team-handball players. *Journal of Sports Sciences*, 27(2), 151-157.
43. Chen, C.-H., Tu, K.-H., Liu, C., & Shiang, T.-Y. (2014). Effects of forefoot bending elasticity of running shoes on gait and running performance. *Human Movement Science*, 38, 163-172.
44. Choppin, S., Goodwill, S., & Haake, S. (2011). Impact characteristics of the ball and racket during play at the Wimbledon qualifying tournament. *Sports Engineering*, 13(4), 163-170.
45. Clansey, A. C., Hanlon, M., Wallace, E. S., & Lake, M. J. (2012). Effects of fatigue on running mechanics associated with tibial stress fracture risk. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(10), 1917-1923.
46. Clarke, T. E., Frederick, E. C., & Cooper, L. B. (1982). The effects of shoe cushioning upon selected force and temporal parameters in running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 14(2), 144.
47. Clarke, T. E., Frederick, E. C., & Hamill, C. L. (1982). The effects of shoe design parameters on rearfoot control in running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15(5), 376-381.
48. Clement, D. B., Taunton, J. E., Smart, G. W., & McNicol, K. L. (1981). A survey of overuse running injuries. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, (13), 83.
49. Cometti, G., Maffiuletti, N. A., Pousson, M., Chatard, J. C., & Maffulli, N. (2001). Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 22(1), 45-51.
50. Consejo Superior de Deportes. (2010a). Censo de Instalaciones Deportivas 2010 - Castilla La Mancha. Retrieved from <http://escorpio.csd.gob.es/BusquedaPublicaMapaCcaa/Pages/Default.aspx?idioma=1&ca=08>.
51. Consejo Superior de Deportes. (2010b). Censo Instalaciones Deportivas 2010 - Extremadura. Retrieved from <http://escorpio.csd.gob.es/BusquedaPublicaMapaCcaa/Pages/Default.aspx?idioma=1&ca=11>.
52. Consejo Superior de Deportes. (2010c). Censo Instalaciones Deportivas 2010 - País Vasco. Retrieved from <http://escorpio.csd.gob.es/BusquedaPublicaMapaCcaa/Pages/Default.aspx?idioma=1&ca=16>.

53. Consejo Superior de Deportes. (2012a). *Buenas prácticas en la instalación y el mantenimiento de pistas de pádel*. ISBN 978-84-7949-222-9.
54. Consejo Superior de Deportes. (2012b). *Seguridad y mantenimiento de los campos de fútbol de césped artificial*. ISBN 978-84-7949-217-5.
55. Cook, S. D., Brinker, M. R., & Poche, M. (1990). Running shoes. *Sports Medicine*, 10(1), 1–8.
56. Corrales, B., Hoyo Lara, M. de, & Carrasco Páez, L. (2008). Demandas fisiológicas y características estructurales de la competición en pádel masculino. *Apunts. Educación Física Y Deportes*, (94), 23–28.
57. Costill, D. L., Coyle, E. F., Fink, W. F., Lesmes, G. R., & Witzmann, F. A. (1979). Adaptations in skeletal muscle following strength training. *Journal of Applied Physiology*, 46(1), 96–99.
58. Craig, C. M., Berton, E., Rao, G., Fernandez, L., & Bootsma, R. J. (2006a). Judging where a ball will go: the case of curved free kicks in football. *Naturwissenschaften*, 93(2), 97–101.
59. Craig, C. M., Berton, E., Rao, G., Fernandez, L., & Bootsma, R. J. (2006b). Judging where a ball will go: the case of curved free kicks in football. *Naturwissenschaften*, 93(2), 97–101.
60. Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297–334.
61. CSD. (2015). Retrieved from <http://www.csd.gob.es/csd/instalaciones/politicas-publicas-de-ordenacion/actuaciones-en-el-ambito-tecnico/introduccion>.
62. Cymet, T. C., & Sinkov, V. (2006). Does long-distance running cause osteoarthritis? *JAOA: Journal of the American Osteopathic Association*, 106(6), 342–345.
63. Damm, L., Starbuck, C., Stocker, N., Clarke, J., Carré, M., & Dixon, S. (2014). Shoe-surface friction in tennis: influence on plantar pressure and implications for injury. *Footwear Science*, 6(3), 155–164.
64. De Clercq, D., Debuyck, G., Gerlo, J., Rambour, S., Segers, V., & Van Caekenberghe, I. (2014). Cutting performance wearing different studded soccer shoes on dry and wet artificial turf. *Footwear Science*, 6(2), 81–87.
65. Denoth, J. (1986). Load on the locomotor system and modeling. *Biomechanics of Running Shoes*, 63–116.

66. De Prado, F., Sánchez-Alcaraz, B. J., García-Navarro, J. N., & Burruezo, A. (2014). Prevención de lesiones en el pádel. *Revista de Transmisión del Conocimiento Educativo y de la Salud*, 6 (4), 175-188.
67. Deutscher Padel Verband. (n.d.). Retrieved from www.dpv-padel.de.
68. De Wit, B., & De Clercq, D. (1997). Differences in sagittal plane kinematics between barefoot and shod running. In *Proceedings of the Second Annual Congress of the European College of Sports Sciences* (pp. 790-791).
69. Diccionario de la lengua española. (n.d.). Retrieved September 27, 2015, from <http://lema.rae.es/drae/?val=protocolo>.
70. Dixon, S. J., Collop, A. C., & Batt, M. E. (2000). Surface effects on ground reaction forces and lower extremity kinematics in running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(11), 1919-1926.
71. Dixon, S. J., & Cooke, A. (2004). Shoe-surface interaction in tennis. *Bio-medical engineering principles in sports* (pp. 125-151). Springer.
72. Durá, J. V., Hoyos, J. V., Lozano, L., & Martínez, A. (1999). The effect of shock absorbing sports surfaces in jumping. *Sports Engineering*, 2, 103-108.
73. Eime, R., Zazryn, T., & Finch, C. (2003). Epidemiology of squash injuries requiring hospital treatment. *Injury Control and Safety Promotion*, 10(4), 243-245.
74. Ekstrand, J., Timpka, T., & Hägglund, M. (2006). Risk of injury in elite football played on artificial turf versus natural grass: a prospective two-cohort study. *British Journal of Sports Medicine*, 40(12), 975-980.
75. Elegir una zapatilla de pádel. (n.d.). Retrieved from <http://padeltienda.com/mwsjml/noticias/sabias-que/101-elegir-una-zapatilla-de-padel>.
76. Elejabarrieta, F., & Iñiguez, L. (2010). Construcción de escalas de actitud, tipo Thurstone y Likert. *La Sociología En Sus Escenarios*, (17).
77. El gran paso, del jugador de tenis al de pádel. (n.d.). Retrieved from www.doblered.es/content/el-gran-paso-del-jugador-de-tenis-al-de-p%C3%A1del.
78. Ellenbecker, T. S. (1995). Rehabilitation of shoulder and elbow injuries in tennis players. *Clinics in Sports Medicine*, 14(1), 87-110.

79. Engebretsen, L., Soligard, T., Steffen, K., Alonso, J. M., Aubry, M., Budgett, R., Renström, P.A. (2013). Sports injuries and illnesses during the London Summer Olympic Games 2012. *British Journal of Sports Medicine*, 47(7), 407–414.
80. Federação Portuguesa de Padel. (n.d.). Retrieved from www.fppadel.pt.
81. Federación Española de Pádel. (2015). Retrieved from <http://www.padelfederacion.es/Home>.
82. Federación Española de Pádel. (2013). Homologación de pistas de pádel. <http://www.padelfederacion.es/Microsite.asp?Id=7&IdOpcion=25>.
83. Fédération Française de Padel. (n.d.). Retrieved from ffpadel.free.fr.
84. Federazione Italiana Gioco Paddle. (n.d.). Retrieved from www.paddleitalia.it.
85. Fernández, J., Sanz, D., & Méndez, A. (2012). La velocidad y la agilidad. *Fundamentos Del Entrenamiento de La Condición Física Para Jugadores de Tenis En Formación*. Barcelona. Real Federación Española de Tenis.
86. Ferrando, M. G., & Villarroya, A. A. (2010). *Pensar nuestra sociedad globalizada: una invitación a la sociología*. Tirant lo Blanch.
87. Ferro, A. (2001). *La carrera de velocidad: metodología de análisis biomecánico*. Lib Deportivas Esteban Sanz.
88. FIFA Quality Concept for Football Turf. (2010). Retrieved from http://www.fifa.com/mm/document/afdeveloping/pitchequip/fqc_football_turf_folder_342.pdf.
89. Fleming, P. (2011). Artificial turf systems for sport surfaces: current knowledge and research needs. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 225(2), 43–63.
90. Fleming, P. R., Young, C., Roberts, J. R., Jones, R., & Dixon, N. (2005). Human perceptions of artificial surfaces for field hockey. *Sports Engineering*, 8(3), 121–136.
91. Fong, D. T.-P., Ha, S. C.-W., Mok, K.-M., Chan, C. W.-L., & Chan, K.-M. (2012). Kinematics Analysis of Ankle Inversion Ligamentous Sprain Injuries in Sports Five Cases From Televised Tennis Competitions. *The American Journal of Sports Medicine*, 40(11), 2627–2632.

92. Ford, K. R., Manson, N. A., Evans, B. J., Myer, G. D., Gwin, R. C., Heidt, R. S., & Hewett, T. E. (2006). Comparison of in-shoe foot loading patterns on natural grass and synthetic turf. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9(6), 433–440.
93. Forwood, M. R., & Burr, D. B. (1993). Physical activity and bone mass: exercises in futility? *Bone and Mineral*, 21(2), 89–112.
94. Foster, J. B. (2007). Newer artificial turf appears safer for soccer players. *BioMechanics*, 14(9), 9–10.
95. Franco. (2008). *Mantenimiento y problemática de los campos de césped artificial*. II Curso de Experto Universitario en Gestión del Césped Deportivo Natural y Artificial, Las Rozas: Fundación RFEF y UCLM.
96. Frederick, E. C. (1986). Kinematically mediated effects of sport shoe design: A review*. *Journal of Sports Sciences*, 4(3), 169–184.
97. Frederick, E. C., Clarke, T. E., & Hamill, C. L. (1984). The effect of running shoe design on shock attenuation. *Sport Shoes and Playing Surfaces*, 190–198.
98. Frederick, E. C., Clarke, T. E., Larsen, J. L., & Cooper, L. B. (1983). The effects of shoe cushioning on the oxygen demands of running. *Biomechanical Measurement of Running Shoe Cushioning Properties. Biomechanical Aspects of Sport Shoes and Playing Surfaces. University of Calgary, Calgary, AB*, 107–114.
99. Frederick, E. C., & Hagy, J. L. (2010). Factors affecting peak vertical ground reaction forces in running. *Journal of Applied Biomechanics*, 2(1), 41–49.
100. Fu, T. S., Chen, H. T., Chou, C. L., Tsai, W. J., & Lee, S. Y. (2011). Screen-strategy analysis in broadcast basketball video using player tracking. *Visual Communications and Image Processing*, 1–4.
101. Galbusera, F., Tornese, D. Z., Anasetti, F., Bersini, S., Volpi, P., Barbera, L. L., & Villa, T. (2013). Does soccer cleat design influence the rotational interaction with the playing surface? *Sports Biomechanics*, 12(3), 293–301.
102. Gallardo-Guerrero, L., García-Tascón, M., & Burillo-Naranjo, P. (2008). New sports management software: A needs analysis by a panel of Spanish experts. *International Journal of Information Management*, 28(4), 235–245.
103. Gallardo, L. (2007). Censo Nacional de Instalaciones Deportivas de España-2005. *Madrid: Consejo Superior de Deportes. Ministerio de Educación Y Ciencia*.

104. Gallardo, L., García Tascón, M., Gallardo, A., & Burillo, P. (2007). El césped artificial un valor en alza en las instalaciones deportivas. *Agua Y Gestión*, 77, 13–18.
105. García Acedo, D. M., & Ares Bella, F. (2007). Estudio biomecánico y patomecánico en la práctica del pádel. *Revista Española de Podología*, 18(4), 176–183.
106. García Ferrando, M., & Llopis, R. (2011). Ideal democrático y bienestar personal. Encuesta sobre los hábitos deportivos en España 2010. *Madrid: Centro de Investigaciones Sociológicas-Consejo Superior de Deportes*.
107. García-Pérez, J. A., Pérez-Soriano, P., Llana Belloch, S., Lucas-Cuevas, Á. G., & Sánchez-Zuriaga, D. (2014). Effects of treadmill running and fatigue on impact acceleration in distance running. *Sports Biomechanics*, 13(3), 259–266.
108. Gaw, C. E., Chounthirath, T., & Smith, G. A. (2014). Tennis-related injuries treated in United States emergency departments, 1990 to 2011. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 24(3), 226–232.
109. Gehring, D., Melnyk, M., & Gollhofer, A. (2009). Gender and fatigue have influence on knee joint control strategies during landing. *Clinical Biomechanics*, 24(1), 82–87.
110. Gehring, D., Rott, F., Stapelfeldt, B., & Gollhofer, A. (2008). Effect of soccer shoe cleats on knee joint loads. *International Journal of Sports Medicine*, (28), 1030–4.
111. Genevois, C., Reid, M., Rogowski, I., & Crespo, M. (2015). Performance Factors Related to the Different Tennis Backhand Groundstrokes: A Review. *Journal of Sports Science & Medicine*, 14(1), 194.
112. Giles, K. B. (2011). Injury resilience—let’s control what can be controlled! *British Journal of Sports Medicine*, 45(9), 684–685.
113. Girard, O., Millet, G. P., Slawinski, J., Racinais, S., & Micallef, J. P. (2013). Changes in running mechanics and spring-mass behaviour during a 5-km time trial. *International Journal of Sports Medicine*, 34(09), 832–840.
114. Gloria, P. S. (2008). Investigación cualitativa. Retos e interrogantes. *Métodos. La Muralla. Madrid. España*. ISBN 9788471336286.
115. Goh, S. L., Mokhtar, A. H., & Mohamad, A. M. (2013). Badminton injuries in youth competitive players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 53(1), 65–70.
116. Gomes, R. M., & Puig, N. (2009). El deporte, entre lo local y lo global: una mirada europea. *Apuntes: Educación Física Y Deportes*, (97), 3–7.

117. González, E. (2014). El césped artificial podría provocar cáncer. Retrieved from <http://www.futbolprimera.es/2014/10/11/cesped-artificial-podria-provocar-cancer>.
118. González-Carvajal, C. (2005). *Escuela de—padel: del aprendizaje a la competición amateur*. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=278926>.
119. Goodwill, S. R., & Haake, S. J. (2004a). Ball spin generation for oblique impacts with a tennis racket. *Experimental Mechanics*, 44(2), 195–206.
120. Goodwill, S. R., & Haake, S. J. (2004b). Ball spin generation for oblique impacts with a tennis racket. *Experimental Mechanics*, 44(2), 195–206.
121. Goodwill, S. R., Kirk, R., & Haake, S. J. (2005). Experimental and finite element analysis of a tennis ball impact on a rigid surface. *Sports Engineering*, 8(3), 145–158.
122. Gorostiaga, E. M., Granados, C., Ibanez, J., Izquierdo, M., & others. (2005). Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur male handball players. *International Journal of Sports Medicine*, 26(3), 225–232.
123. Goryachev, Y., Debbi, E. M., Haim, A., & Wolf, A. (2011). The effect of manipulation of the center of pressure of the foot during gait on the activation patterns of the lower limb musculature. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 21(2), 333–339.
124. Granados, C., Izquierdo, M., Ibanez, J., Bonnabau, H., & Gorostiaga, E. M. (2007). Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur female handball players. *International Journal of Sports Medicine*, 28(10), 860–867.
125. Grier, T. L., Knapik, J. J., Swedler, D., & Jones, B. H. (2011). Footwear in the United States Army Band: Injury incidence and risk factors associated with foot pain. *The Foot*, 21(2), 60–65.
126. Groves, R. M., Fowler Jr, F. J., Couper, M. P., Lepkowski, J. M., Singer, E., & Tourangeau, R. (2011). *Survey methodology* (Vol. 561). John Wiley & Sons.
127. *Guía de recomendaciones para el diseño de calzado (IBV)*. Retrieved from <http://www.ibv.org/publicaciones/catalogo-de-publicaciones/guia-de-recomendaciones-para-el-diseno-de-calzado>.
128. Gu, Y., Lu, Y., Mei, Q., Li, J., & Ren, J. (2014). Effects of different unstable sole construction on kinematics and muscle activity of lower limb. *Human Movement Science*, 36, 46–57.

129. Hamill, Freedson, Boda, & Reichsman. (1988). Effects of shoe type on cardiorespiratory responses and rearfoot motion during treadmill running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20(5), 515–521.
130. Hamill, J., Bates, B. T., & Holt, K. G. (1992). Timing of lower extremity joint actions during treadmill running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(7), 807–813.
131. Hamill, J., Bates, B. T., Knutzen, K. M., & Sawhill, J. A. (1983). Variations in ground reaction force parameters at different running speeds. *Human Movement Science*, 2(1), 47–56.
132. Handbook of Performance, Durability and Construction Requirements for Synthetic Turf Hockey Pitches. (2013). Retrieved from <http://www.fih.ch/files/Sport/Pitches/2013%20May%20Pitch%20Handbook.pdf>.
133. Hanson, S. J., McCullagh, P., & Tonymon, P. (1992). The relationship of personality characteristics, life stress, and coping resources to athletic injury. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 14(3), 262–272.
134. Heidt, R. S., Dormer, S. G., Cawley, P. W., Scranton, P. E., Losse, G., Howard, M., & others. (1996a). Differences in friction and torsional resistance in athletic shoe-turf surface interfaces. *The American Journal of Sports Medicine*, 24(6), 834–842.
135. Heidt, R. S., Dormer, S. G., Cawley, P. W., Scranton, P. E., Losse, G., Howard, M., & others. (1996b). Differences in friction and torsional resistance in athletic shoe-turf surface interfaces. *The American Journal of Sports Medicine*, 24(6), 834–842.
136. Heil, J. (1993). *Psychology of sport injury*. Human Kinetics Publishers. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/psycinfo/1993-98152-000>.
137. Hensley, L. D., & Paup, D. C. (1979). A survey of badminton injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 13(4), 156–160.
138. Hibbeler, R. C. (2006). *Mecánica de materiales*. Pearson educación. ISBN 970-26-0654-3.
139. Historia del Pádel. De México a España. (n.d.). Retrieved from <http://padelstar.es/mas-sobre-padel/historia-del-padel.html>.
140. Historia y Origen del Pádel. (n.d.). Retrieved from <http://www.preparacionfisicapadel.com/2013/10/historia-y-origen-del-padel.html>.
141. Hoerberigs, J. H. (1992). Factors related to the incidence of running injuries. *Sports Medicine*, 13(6), 408–422.

142. Hopper, L. S., Alderson, J. A., Elliott, B. C., Ackland, T. R., & Fleming, P. R. (2011). Dancer perceptions of quantified dance surface mechanical properties. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 225(2), 65–73.
143. Hoyo Lora, M. D., Carrasco Páez, L., Sañudo Corrales, F. de B., & others. (2007). Demandas fisiológicas de la competición en pádel. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 3 (8), 53-58.
144. Hughes, M., & Clarke, S. (1995). Surface effect on elite tennis strategy. *Science and Racket Sports*, 272–277.
145. Hutchinson, M. R., Laprade, R. F., Burnett, Q. M., Moss, R., & Terpstra, J. (1995). Injury surveillance at the USTA Boys' Tennis Championships: a 6-yr study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(6), 826–831.
146. INE - Demografía. (2010). http://www.ine.es/prodyser/pubweb/anuario10/anu10_02demog.pdf.
147. International Tennis Federation. (2015). Retrieved from <http://www.itftennis.com/technical/courts/court-testing/court-pace.aspx>.
148. Jacobsson, J., Timpka, T., Kowalski, J., Nilsson, S., Ekberg, J., Dahlström, Ö., & Renström, P. A. (2013). Injury patterns in Swedish elite athletics: annual incidence, injury types and risk factors. *British Journal of Sports Medicine*, 47(15), 941–952.
149. James, N., Mellalieu, S. D., & Hollely, C. (2002). Analysis of strategies in soccer as a function of European and domestic competition. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 2(1), 85-103.
150. James, S. (1978). Injuries to Runners. *American Journal of Sports Medicine*, 6(2), 40-50.
151. Jayanthi, N., Sallay, P. I., Hunker, P., & Przybylski, M. (2005). Skill-level related injuries in recreational competition tennis players. *Med Sci Tennis*, 10(1), 12–15.
152. Jefferson, R. J., Collins, J. J., Whittle, M. W., Radin, E. L., & O'Connor, J. J. (1990). The role of the quadriceps in controlling impulsive forces around heel strike. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 204(1), 21–28.
153. Jones, B. H. (1983). Overuse injuries of the lower extremities associated with marching, jogging, and running: a review. *Military Medicine*, 148(10), 783.

154. Jørgensen, U., & Winge, S. (1990). Injuries in badminton. *Sports Medicine*, 10(1), 59–64.
155. Junqua, A., Pavis, B., Lacouture, P., Nviere, J., & Rivat, A. (1983). About standards on sport floors. *Biomechanical Aspect of Sport Shoes and Playing Surfaces* (eds. Nigg, BM and Kerr, BA) University Printing, Calgary, AB, Canada, 77-82.
156. Kaila, R. (2007). Influence of modern studded and bladed soccer boots and sidestep cutting on knee loading during match play conditions. *The American Journal of Sports Medicine*, 35(9), 1528–1536.
157. Kaiser, H. F. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39(1), 31–36.
158. Kang, C. H., Hwang, J. R., & Li, K. J. (2006). Trajectory analysis for soccer players. In *Data Mining Workshops*. ICDM Workshops 2006. Sixth IEEE International Conference, 377-381.
159. Karlsson, M. K., Nordqvist, A., & Karlsson, C. (2008). Physical activity increases bone mass during growth. *Food & Nutrition Research*, 52.
160. Katkat, D., Bulut, Y., Demir, M., & Akar, S. (2009). Effects of different sport surfaces on muscle performance. *Biology of Sport*, 26(3), 285.
161. Kemp, S. P., Hudson, Z., Brooks, J. H., & Fuller, C. W. (2008). The epidemiology of head injuries in English professional rugby union. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 18(3), 227–234.
162. King, B. (2010). What makes fans crazy about sports. *Street and Smith Sport Business Journal*, 1–5.
163. Kirk, R. F., Noble, I. S. G., Mitchell, T., Rolf, C., Haake, S. J., & Carré, M. J. (2007). High-speed observations of football-boot-surface interactions of players in their natural environment. *Sports Engineering*, 10(3), 129–144.
164. Knechtle, B., Wirth, A., Baumann, B., Knechtle, P., Rosemann, T., & Oliver, S. (2010). Differential correlations between anthropometry, training volume, and performance in male and female Ironman triathletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(10), 2785–2793.
165. Knowles, S. B., Marshall, S. W., & Guskiewicz, K. M. (2006). Issues in estimating risks and rates in sports injury research. *Journal of Athletic Training*, 41(2), 207.
166. Konradsen, L., Hansen, E.-M. B., & Søndergaard, L. (1990). Long distance running and osteoarthritis. *The American Journal of Sports Medicine*, 18(4), 379–381.

167. Korver, T. H., Van de Stadt, R. J., Kiljan, E., Van Kampen, G. P., & Van der Korst, J. K. (1992). Effects of loading on the synthesis of proteoglycans in different layers of anatomically intact articular cartilage in vitro. *The Journal of Rheumatology*, 19(6), 905–912.
168. Krissoff, W. B., & Ferris, W. D. (1979). Runner's injuries. *Physician Sportsmed*, 7(12), 54–64.
169. Kruse, H. (2003). Social Interaction, the Arrangement of Interior Space, and Racetrack Renovation. *Journal of Sport & Social Issues*, 27(4), 330–345.
170. Kryger, K. O., Dor, F., Guillaume, M., Haida, A., Noirez, P., Montalvan, B., & Toussaint, J.-F. (2015). Medical Reasons Behind Player Departures From Male and Female Professional Tennis Competitions. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(1), 34–40
171. Lafortune, M. A. (1991). Three-dimensional acceleration of the tibia during walking and running. *Journal of Biomechanics*, 24(10), 877–886.
172. Lafortune, M. A., & Hennig, E. M. (1991). Contribution of angular motion and gravity to tibial acceleration. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(3), 360–363.
173. Lake, M. J. (2000). Determining the protective function of sports footwear. *Ergonomics*, 43(10), 1610–1621.
174. Lane, N. E., Bloch, D. A., Jones, H. H., Marshall, W. H., Wood, P. D., & Fries, J. F. (1986). Long-distance running, bone density, and osteoarthritis. *Jama*, 255(9), 1147–1151.
175. Lasaga, M.-J. (2011). *Estudio social y metodológico del Pádel desde la percepción de técnicos y jugadores: una apuesta educativa*. Universidad de Sevilla (<http://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=24751>).
176. Lawson, B., Aguilar, F., Knop, L., & Goehler, C. M. (2013). The Effects of Shoe Architecture on Heel Impact Forces During Gait. In *ASME 2013 Summer Bioengineering Conference*. American Society of Mechanical Engineers.
177. Lawton, G. (2005). Pitch battle over artificial grass. *New Scientist*, 2502, 35–37.
178. Lejeune, T. M., Willems, P. A., & Heglund, N. C. (1998). Mechanics and energetics of human locomotion on sand. *The Journal of Experimental Biology*, 201(13), 2071–2080.

179. Light, L. H., McLellan, G. E., & Klenerman, L. (1980). Skeletal transients on heel strike in normal walking with different footwear. *Journal of Biomechanics*, 13(6), 477–480.
180. Li, P., & Ladin, Z. (1992). Mathematical modelling of the effect of sole elasticity distribution on pronation. *Journal of Biomechanics*, 25(5), 501–510.
181. lipoVetsky, G. (1989). El crepúsculo del deber, Anagrama, Barcelona 1994. *Ricardo Blanco Beledo*, 312.
182. Livesay, G. A., Reda, D. R., & Nauman, E. A. (2006a). Peak Torque and Rotational Stiffness Developed at the Shoe-Surface Interface The Effect of Shoe Type and Playing Surface. *The American Journal of Sports Medicine*, 34(3), 415–422.
183. Livesay, G. A., Reda, D. R., & Nauman, E. A. (2006b). Peak Torque and Rotational Stiffness Developed at the Shoe-Surface Interface The Effect of Shoe Type and Playing Surface. *The American Journal of Sports Medicine*, 34(3), 415–422.
184. López-Roza. (2013). *Lesiones en el pádel: más vale prevenir que jugar*. (Punto Rojo).
185. Luethi, S. M., Denoth, J., Kaelin, X., Stacoff, A., & Stuessi, E. (1987). The influence of the shoe on foot movement and shock attenuation in running. *Biomechanics*, 931–935. Human Kinetics Publisher Champaign, Illinois.
186. Macera, C. A. (1992). Lower extremity injuries in runners. *Sports Medicine*, 13(1), 50–57.
187. Majid, F., & Bader, D. L. (1993). A biomechanical analysis of the plantar surface of soccer shoes. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 207(2), 93–101.
188. Maquirriain, J., & Baglione, R. (2015). Epidemiology of tennis injuries: An eight-year review of Davis Cup retirements. *European Journal of Sport Science*, (ahead-of-print), 1–5.
189. Marinelli, D. J. (2000). *Speed, spin rate, and curve measuring device using magnetic field sensors*. Google Patents. Retrieved from <https://www.google.com/patents/US6151563>.
190. Martínez. (2008). Revisión de las estrategias para la prevención de lesiones en el deporte desde la actividad física. *Apunts. Medicina de L'esport*, 43(157), 30–40.
191. Martínez, B. J. (2013a). Historia del Pádel. *Materiales Para La Historia Del Deporte*, 57.

192. Martínez, B. J. (2013b). Los desplazamientos y el juego de pies en el tenis. Análisis de las fases y propuestas de aplicación. *Revista actividad física y deporte, ciencia y profesión*, 18, 41-48.
193. McCall, A., Carling, C., Nedelec, M., Davison, M., Le Gall, F., Berthoin, S., & Dupont, G. (2014). Risk factors, testing and preventative strategies for non-contact injuries in professional football: current perceptions and practices of 44 teams from various premier leagues. *British Journal of Sports Medicine*, bjsports-2014.
194. McClay, I., & Manal, K. (1997). Coupling parameters in runners with normal and excessive pronation. *Journal of Applied Biomechanics*, 13, 109-124.
195. McLean, S. G., Felin, R. E., Suedekum, N., Calabrese, G., Passerallo, A., & Joy, S. (2007). Impact of fatigue on gender-based high-risk landing strategies. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(3), 502.
196. McMahan, T. A., & Greene, P. R. (1979). The influence of track compliance on running. *Journal of Biomechanics*, 12(12), 893-904.
197. McNitt, A. S., & Petrunak, D. (2003). *Evaluation of playing surface characteristics of various in-filled systems*. Pennsylvania State University. Department of Crop & Soil Sciences. Artificial Turf Information.
198. Meeuwisse, W. H. (1994). Assessing Causation in Sport Injury: A Multifactorial Model. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 4(3), 166-170.
199. Mehta, R., Alam, F., & Subic, A. (2008). Review of tennis ball aerodynamics. *Sports Technology*, 1(1), 7-16.
200. Mehta, R. D., & Pallis, J. M. (2001a). Sports ball aerodynamics: effects of velocity, spin and surface roughness. *Materials and Science in Sports (USA)*, 185-197.
201. Mehta, R. D., & Pallis, J. M. (2001b). Sports ball aerodynamics: effects of velocity, spin and surface roughness. *Materials and Science in Sports (USA)*, 185-197.
202. Meyers, M. C., & Barnhill, B. S. (2004). Incidence, Causes, and Severity of High School Football Injuries on FieldTurf Versus Natural Grass A 5-Year Prospective Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 32(7), 1626-1638.
203. Mizrahi, J., Verbitsky, O., Isakov, E., & Daily, D. (2000). Effect of fatigue on leg kinematics and impact acceleration in long distance running. *Human Movement Science*, 19(2), 139-151.

-
204. Módulo Actividades físico deportivas. El Pádel. (n.d.). Retrieved from <http://www.seritium.es/tafadseritium/images/padel%20tecnicatactica.pdf>.
205. Morlock, M., & Nigg, B. M. (1991). Theoretical considerations and practical results on the influence of the representation of the foot for the estimation of internal forces with models. *Clinical Biomechanics*, 6(1), 3–13.
206. Müller, C., Sterzing, T., Lake, M., & Milani, T. L. (2010). Different stud configurations cause movement adaptations during a soccer turning movement. *Footwear Science*, 2(1), 21–28.
207. Mundermann, A., Nigg, B. M., Humble, R. N., & Stefanyshyn, D. J. (2004). Consistent immediate effects of foot orthoses on comfort and lower extremity kinematics, kinetics, and muscle activity. *Journal of Applied Biomechanics*, 20(1), 71–84.
208. Murphy, D. F., Connolly, D. A. J., & Beynon, B. D. (2003). Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature. *British Journal of Sports Medicine*, 37(1), 13–29.
209. Naunheim, R., Parrott, H., & Standeven, J. (2004). A comparison of artificial turf. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 57(6), 1311–1314.
210. Navarro. (2013). Estudio epidemiológico de las lesiones en el deporte ocio. Parte II: Pádel.
211. Nawoczenski, D. A., Cook, T. M., & Saltzman, C. L. (1995). The effect of foot orthotics on three-dimensional kinematics of the leg and rearfoot during running. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 21(6), 317–327.
212. NBC. (2014). NBC News Looks Into Possible Link Between Artificial Turf And Cancer. Retrieved from <http://www.forbes.com/sites/mikeozanian/2014/10/10/nbc-news-looks-into-link-between-artificial-turf-and-cancer>.
213. Nigg, B. (2013). *Injury and performance on tennis surfaces. The effect of tennis surfaces on the game of tennis*.
214. Nigg, B. M. (1990). The validity and relevance of tests used for the assessment of sports surfaces. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(1), 131–139.
215. Nigg, B. M. (1997). Impact forces in running. *Current Opinion in Orthopaedics*, 8(6), 43–47.
216. Nigg, B. M. (2001). The role of impact forces and foot pronation: a new paradigm. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 11(1), 2–9.

217. Nigg, B. M., Cole, G. K., & Bruggemann, G.-P. (2010). Impact forces during heel-toe running. *Journal of Applied Biomechanics*, 11(4), 407-432.
218. Nigg, B. M., Cole, G. K., & Stefanyshyn, D. J. (2003). Impact forces during exercise and sport activities. *Sport Surfaces–Biomechanics, Injuries, Performance, Testing and Installation*, Editors. BM Nigg, GK Cole and DJ Stefanyshyn, University of Calgary, Calgary, Canada, 13-29.
219. Nigg, B. M., Frederick, E. C., Hawes, M. R., & Luethi, S. M. (2010). Factors influencing short-term pain and injuries in tennis. *Journal of Applied Biomechanics*, 2(3), 156-165.
220. Nigg, B. M., & Morlock, M. (1987). The influence of lateral heel flare of running shoes on pronation and impact forces. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, (19), 294–302.
221. Nigg, B. M., & Segesser, B. (1988). The influence of playing surfaces on the load on the locomotor system and on football and tennis injuries. *Sports Medicine*, 5(6), 375–385.
222. Nigg, B. M., & Segesser, B. (1992). Biomechanical and orthopedic concepts in sport shoe construction. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(5), 595–602.
223. Nigg, B. M., Stefanyshyn, D., Cole, G., Stergiou, P., & Miller, J. (2003). The effect of material characteristics of shoe soles on muscle activation and energy aspects during running. *Journal of Biomechanics*, 36(4), 569–575.
224. Nigg, B. M., & Yeadon, M. R. (1987). Biomechanical aspects of playing surfaces. *Journal of Sports Sciences*, 5(2), 117–145.
225. Nigg, Eberle, Frei, Segesser, & Weber. (1977). Bewegungsanalyse für Schuhkorrekturen (Movement analysis for shoe corrections). *Medita*, 9, 160–63.
226. Normas NIDE - CSD. (2015). Retrieved from <http://www.csd.gob.es/csd/instalaciones/politicas-publicas-de-ordenacion/actuaciones-en-el-ambito-tecnico/1normasNIDE/>
227. Nurse, M. A., & Nigg, B. M. (1999). Quantifying a relationship between tactile and vibration sensitivity of the human foot with plantar pressure distributions during gait. *Clinical Biomechanics*, 14(9), 667–672.
228. O'Donoghue, P., & Ingram, B. (2001). A notational analysis of elite tennis strategy. *Journal of Sports Sciences*, 19(2), 107–115.
229. O'Donoghue, P., & Liddle, D. (2002). 35 A match analysis of elite tennis strategy for ladies' singles on clay and grass surfaces. *Science and Racket Sports II*, 247.

230. Olmedilla Zafra, A., Ortín Montero, F. J., & Ortega Toro, E. (2004). Un análisis descriptivo de la percepción de los jugadores de fútbol respecto a los factores que pueden provocar lesiones. *Cuadernos de Psicología del Deporte*, 1 (2), 201-212.
231. Padel England Association. (n.d.). Retrieved from www.padelengland.org.
232. Pallás, J. M., & Villa, J. J. (2012). *Métodos de investigación clínica y epidemiológica*. Elsevier España.
233. Palmi Guerrero, J. (2001). Visión psico-social en la intervención de la lesión deportiva. *Cuadernos de Psicología del Deporte*, 1 (1), 70-79.
234. Pappas, E., Sheikhzadeh, A., Hagins, M., & Nordin, M. (2007). The effect of gender and fatigue on the biomechanics of bilateral landings from a jump: Peak values. *Journal of Sports Science & Medicine*, 6(1), 77.
235. Pasanen, K., Parkkari, J., Rossi, L., & Kannus, P. (2008). Artificial playing surface increases the injury risk in pivoting indoor sports: a prospective one-season follow-up study in Finnish female floorball. *British Journal of Sports Medicine*, 42(3), 194-197.
236. Pérez López, C. (2001). *Técnicas estadísticas con SPSS*. Madrid: Pearson Educación.
237. Pieper, S., Exler, T., & Weber, K. (2007). Running speed loads on clay and hard courts in world class tennis. *Med Sci Tennis*, 12(2), 14-17.
238. Pluim, B. M., Staal, J. B., Windler, G. E., & Jayanthi, N. (2006). Tennis injuries: occurrence, aetiology, and prevention. *British Journal of Sports Medicine*, 40(5), 415-423.
239. Priego, J. I., Olaso Melis, J., Llana-Belloch, S., Pérez-Soriano, P., González García, J. C., Sanchis Almenara, M. (2014). Estudio presurométrico y biomecánico del pie en el pádel. *Revista Iberoamericana de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 3(1), 21-26.
240. Priego, J., Olaso, J., Llanna, S., Pérez, P., González, J., & Sanchis, M. (2013). Padel: a quantitative study of the shots and movements in the high-performance. *Journal of Human Sport and Exercise*, 8(4), 925-931.
241. Radin, E. L., Orr, R. B., Kelman, J. L., Paul, I. L., & Rose, R. M. (1982). Effect of prolonged walking on concrete on the knees of sheep. *Journal of Biomechanics*, 15(7), 487-492.

242. Radin, E. L., Parker, H. G., Pugh, J. W., Steinberg, R. S., Paul, I. L., & Rose, R. M. (1973). Response of joints to impact loading—III: Relationship between trabecular microfractures and cartilage degeneration. *Journal of Biomechanics*, 6(1), 51–57.
243. Radin, E. L., & Paul, I. L. (1971). Response of joints to impact loading. I. In vitro wear. *Arthritis & Rheumatism*, 14(3), 356–362.
244. Radin, E. L., Yang, K. H., Riegger, C., Kish, V. L., & O'Connor, J. J. (1991). Relationship between lower limb dynamics and knee joint pain. *Journal of Orthopaedic Research*, 9(3), 398–405.
245. Radin, E., Paul, I., & Rose, R. (1972). Role of mechanical factors in pathogenesis of primary osteoarthritis. *The Lancet*, 299(7749), 519–522.
246. Rampinini, E., Bishop, D., Marcora, S. M., Ferrari Bravo, D., Sassi, R., & Impellizzeri, F. M. (2007). Validity of simple field tests as indicators of match-related physical performance in top-level professional soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3), 228.
247. Reglamento de Juego de la Federación Internacional de Pádel. (2010). Retrieved from http://media.wix.com/ugd/b602c3_78d9245f07c449af91c685e27155c04b.pdf.
248. Reglamento de Juego. Federación Española de Pádel. (2014). Retrieved from <http://www.padelfederacion.es/paginas/docs/REGLAMENTOJUEGO2010.pdf>.
249. Reinschmidt, C., & Nigg, B. M. (2000). Current issues in the design of running and court shoes. *Sportverletzung· Sportschaden*, (14), 71–81.
250. Reinschmidt, C., van Den Bogert, A. J., Murphy, N., Lundberg, A., & Nigg, B. M. (1997). Tibiocalcaneal motion during running, measured with external and bone markers. *Clinical Biomechanics*, 12(1), 8–16.
251. Rienzi, E., Drust, B., Reilly, T., Carter, J. E., & Martin, A. (2000). Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40(2), 162.
252. Robbins, S. E., & Gouw, G. J. (1990a). Athletic footwear and chronic overloading. *Sports Medicine*, 9(2), 76–85.
253. Robbins, S. E., & Gouw, G. J. (1990b). Athletic footwear and chronic overloading. *Sports Medicine*, 9(2), 76–85.

-
254. Ropa y Calzado. (2015). Retrieved from http://ropa.idoneos.com/calzado_deportivo.
255. Rosa, D., Sanchis, M., Alcántara, E., & Zamora, T. (2008). Contribuciones de la Biomecánica al estudio de los terrenos de juego de hierba artificial. *Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte*, 469–488. Médica Panamericana.
256. Sallis, R. E., Jones, K., Sunshine, S., Smith, G., & Simon, L. (2001). Comparing sports injuries in men and women. *International Journal of Sports Medicine*, 22(6), 420–423.
257. Sánchez-Alcaraz, B. J. (2013). Táctica del pádel en la etapa de iniciación. Trances. *Revista de Transmisión Del Conocimiento Educativo Y de La Salud*, 5(1), 109–116.
258. Sánchez-Alcaraz, & de Prado. (2014). Percepción de los Factores que provocan Lesiones en Jugadores de Pádel. *Revista de entrenamiento deportivo*, 27(4),9-14.
259. Sánchez, J. (2014). *Efectos de los componentes estructurales de soporte sobre el comportamiento mecánico y el rendimiento deportivo en los campos de fútbol de césped artificial*. Universidad de Castilla-La Mancha.
260. Sanchis, M., Alcántara, E. (2013). Influence of sport surfaces on running pattern of children and adults. Natural grass and artificial turf comparison. Presented at the 18th annual Congress of the European College of Sport Science, Barcelona.
261. Sanderson, A. R. (2002). The many dimensions of competitive balance. *Journal of Sports Economics*, 3(2), 204–228.
262. Schmidt, R. C. (1990). *Natural and Artificial Playing Fields: Characteristics and Safety Features*. ASTM International. Standards & Publications (STP) 1703.
263. Schrier, N. M., Wannop, J. W., Lewinson, R. T., Worobets, J., & Stefanyszyn, D. (2014). Shoe traction and surface compliance affect performance of soccer-related movements. *Footwear Science*, 6(2), 69–80.
264. Schwellnus, M. P., Jordaan, G., & Noakes, T. D. (1990). Prevention of common overuse injuries by the use of shock absorbing insoles A prospective study. *The American Journal of Sports Medicine*, 18(6), 636–641.
265. Scott, S. H., & Winter, D. A. (1990). Internal forces of chronic running injury sites. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(3), 357–369.

266. Scott, S. H., & Winter, D. A. (1993). Biomechanical model of the human foot: kinematics and kinetics during the stance phase of walking. *Journal of Biomechanics*, 26(9), 1091–1104.
267. Sell, K., Hainline, B., Yorio, M., & Kovacs, M. (2014). Injury trend analysis from the US Open Tennis Championships between 1994 and 2009. *British Journal of Sports Medicine*, 48(7), 546–551.
268. Shieh, M.D., & Yeh, Y.E. (2013). Developing a design support system for the exterior form of running shoes using partial least squares and neural networks. *Computers & Industrial Engineering*, 65(4), 704–718.
269. Shiue, L. (1991). Characterization of the performance of shoe insert materials. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 81(8), 418–24.
270. Shorten, M., & Himmelsbach, J. (2002). Traction of cleated shoes on natural and artificial turf football surfaces. *Report to Sponsors. Biomechanica. Com.*
271. Shorten, M. R., & Winslow, D. S. (1992). Spectral analysis of impact shock during running. *International Journal of Sport Biomechanics*, 8, 288–288.
272. Sinclair, J., Franks, C., Goodwin, J. F., Naemi, R., & Chockalingam, N. (2014). Influence of footwear designed to boost energy return on the kinetics and kinematics of running compared to conventional running shoes. *Comparative Exercise Physiology*, 10(3), 199–206.
273. Soriano, P., Llana, S. (2015). *Biomecánica básica aplicada a la actividad física y el deporte*. ISBN 9788499101804.
274. Soto, C. M., & Lautenschlager, G. (2003). Comparación estadística de la confiabilidad alfa de Cronbach: Aplicaciones en la medición educacional y psicológica. *Revista de Psicología*, 12(2), Pág-127.
275. Stacoff, A., & Kaelin, X. (1987). Schuhtechnische und biomechanische Forderungen an den Hallenschuh. *Segesser, B./Pförringer, W.(Hrgs.): Der Schuh Im Sport: Orthopädische Und Biomechanische Grundlagen Zur Schuhversorgung Des Sportlers. Erlangen*, 77–85.
276. Stacoff, A., Nigg, B. M., Reinschmidt, C., van den Bogert, A. J., & Lundberg, A. (2000). Tibiocalcaneal kinematics of barefoot versus shod running. *Journal of Biomechanics*, 33(11), 1387–1395.
277. Stacoff, A., Steger, J., Stuessi, E., & Reinschmidt, C. (1996). Lateral stability in sideward cutting movements. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(3), 350–358.

-
278. Stacoff, A., Steger, J., & Stüssi, E. (1993). Die Kontrolle des Rückfußes bei Seitwärtsbewegungen im Sport. *Sportverletzung· Sportschaden*, 7(01), 22-29.
279. Stacoff, A., Stuessi, E., & Sonderegger, D. (1985). Lateral stability of sportshoes. *Biomechanics*, 9, 139-143.
280. Stebbins, R. A. (1992). *Amateurs, professionals, and serious leisure*. McGill-Queen's Press. 0-7735-0901-1.
281. Stefanyshyn, D. J., & Nigg, B. M. (2000). Energy aspects associated with sport shoes. *Sportverletzung Sportschaden: Organ Der Gesellschaft Fur Orthopadisch-Traumatologische Sportmedizin*, 14(3), 82-89.
282. Stefanyshyn, & Nigg. (1997). Mechanical energy contribution of the metatarsophalangeal joint to running and sprinting. *Journal of Biomechanics*, 30(11), 1081-1085.
283. Stefanyshyn, & Nigg. (2003). Energy and performance aspects in sports surfaces. *Sport Surfaces-Biomechanics, Injuries, Performance, Testing and Installation, Editors. BM Nigg, GK Cole and DJ Stefanyshyn, University of Calgary, Calgary, Canada*, 31-46.
284. Stergiou, & Bates. (1997). The relationship between subtalar and knee joint function as a possible mechanism for running injuries. *Gait & Posture*, 6(3), 177-185.
285. Stephens, T., & Craig, C. L. (1990). *The well-being of Canadians: highlights of the 1988 Campbell's survey*. Ottawa. Canadian Fitness and Lifestyle Research Institute.
286. Stiles, V. H., & Dixon, S. J. (2006). The influence of different playing surfaces on the biomechanics of a tennis running forehand foot plant. *Journal of Applied Biomechanics*, 22(1), 14.
287. Stone, M. H. (1988). Implications for connective tissue and bone alterations resulting from resistance exercise training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20(5 Suppl), S162-8.
288. Stucke, H., Baudzus, W., & Baumann, W. (1984). On friction characteristics of playing surfaces. In *Sport shoes and playing surfaces* (pp. 87-97). Human Kinetics Champaign, Illinois.
289. Stüssi, A., Stacoff, A., & Tiegermann, V. (1989). Rapid sideward movements in tennis. *The Shoe in Sport. Chicago, IL: Year Book Medical Publishers*, 53-62.

290. Suárez, A. D. (2006). *Análisis de la satisfacción de los usuarios: Hacia un nuevo modelo de gestión basado en la calidad para los servicios deportivos municipales*. Consejo Económico y Social de Castilla La Mancha.
291. Targett, S. G. (1998). Injuries in professional Rugby Union. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 8(4), 280–285.
292. Taylor, S. A., Fabricant, P. D., Khair, M. M., Haleem, A. M., & Drakos, M. C. (2012a). A review of synthetic playing surfaces, the shoe-surface interface, and lower extremity injuries in athletes. *The Physician and Sports-medicine*, 40(4), 66–72.
293. Taylor, S. A., Fabricant, P. D., Khair, M. M., Haleem, A. M., & Drakos, M. C. (2012b). A review of synthetic playing surfaces, the shoe-surface interface, and lower extremity injuries in athletes. *The Physician and Sports-medicine*, 40(4), 66–72.
294. Tipos de suelas de zapatilla deportiva de pádel. (2015, December 5). Retrieved from <http://padelstar.es/tienda-de-padel/material-de-padel/zapatillas-de-padel/tipos-de-suela-en-zapatillas-deportivas-de-padel/.html>.
295. Torg, J. S., Quedenfeld, T. C., & Landau, S. (1974). The shoe-surface interface and its relationship to football knee injuries. *The American Journal of Sports Medicine*, 2(5), 261–269.
296. Tsigilis, N., & Hatzimanouil, D. (2005). Injuries in handball: Examination of the risk factors. *European Journal of Sport Science*, 5(3), 137–142.
297. Unierzyski, P., & Wieczorek, A. (2004). Comparison of tactical solutions and game patterns in the finals of two grand slam tournaments in tennis. *Science and Racket Sports III*, 200–205.
298. Ura, D., Carré, M. J., Charlton, H., Capel-Davies, J., Miller, S., Almenara, M. S., de Alfonso Mustienes, A. (2014). Influence of Clay Properties on Shoe-kinematics and Friction During Tennis Movements. *Procedia Engineering*, 72, 889–894.
299. Vallejo, P. M. (2012). Tamaño necesario de la muestra: ¿Cuántos sujetos necesitamos? *Estadística Aplicada*, 24.
300. Van Mechelen, W. (1992). Running injuries. *Sports Medicine*, 14(5), 320–335.
301. Van Mechelen, W., Hlobil, H., & Kemper, H. C. (1992). Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. *Sports Medicine*, 14(2), 82–99.

302. Vicente-Rodríguez, G. (2006). How does exercise affect bone development during growth? *Sports Medicine*, 36(7), 561–569.
303. Vicente-Rodríguez, G., Ara, I., Perez-Gomez, J., Serrano-Sanchez, J. A., Dorado, C., & Calbet, J. A. (2004). High femoral bone mineral density accretion in prepubertal soccer players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36, 1789–1795.
304. Wakeling, J. M., & Nigg, B. M. (2001a). Modification of soft tissue vibrations in the leg by muscular activity. *Journal of Applied Physiology*, 90(2), 412–420.
305. Wakeling, J. M., & Nigg, B. M. (2001b). Soft-tissue vibrations in the quadriceps measured with skin mounted transducers. *Journal of Biomechanics*, 34(4), 539–543.
306. Wakeling, J. M., Pascual, S. A., Nigg, B. M., & Tschanner, V. (2001). Surface EMG shows distinct populations of muscle activity when measured during sustained sub-maximal exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 86(1), 40–47.
307. Walter, S. D. (1988). Training Habits and Injury Experience in Distance Runners: Age-and Sex-Related Factors. *Physician and Sportsmedicine*, 16(6), 101–04.
308. Wang, C.-S. (2010). An analysis and evaluation of fitness for shoe lasts and human feet. *Computers in Industry*, 61(6), 532–540.
309. Wannop, J. W., Luo, G., & Stefanyshyn, D. J. (2013). Footwear traction and lower extremity noncontact injury. *Med Sci Sports Exerc*, 45(11), 2137–2143.
310. Wannop, J. W., Worobets, J. T., Ruiz, R., & Stefanyshyn, D. J. (2014). Footwear traction and three-dimensional kinematics of level, downhill, uphill and cross-slope walking. *Gait & Posture*, 40(1), 118–122.
311. Wheaton, B. (2007). After sport culture rethinking sport and post-subcultural theory. *Journal of Sport & Social Issues*, 31(3), 283–307.
312. Whitlock, C. (2008). Review of synthetic turf safety. *Bernardsville: Somerset Hills School District*.
313. Williams. (1985). The relationship between mechanical and physiological energy estimates. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17(3), 317–325.
314. Witana, C. P., Goonetilleke, R. S., Xiong, S., & Au, E. Y. (2009). Effects of surface characteristics on the plantar shape of feet and subjects' perceived sensations. *Applied Ergonomics*, 40(2), 267–279.

315. World Rugby - Regulation 22 - Standard Relating to the Use of Artificial Turf
Rugby
(<http://playerwelfare.worldrugby.org/?documentid=57>)
316. Worobets, J., Wannop, J. W., Tomaras, E., & Stefanyshyn, D. (2014). Softer and more resilient running shoe cushioning properties enhance running economy. *Footwear Science*, 6(3), 147–153.
317. Wright, I. C., Neptune, R. R., van Den Bogert, A. J., & Nigg, B. M. (1998). Passive regulation of impact forces in heel-toe running. *Clinical Biomechanics*, 13(7), 521–531.
318. Wright, I. C., Neptune, R. R., van den Bogert, A. J., & Nigg, B. M. (2000). The influence of foot positioning on ankle sprains. *Journal of Biomechanics*, 33(5), 513–519.
319. Yoshioka, M. (1979). Slipperiness of building floors. *Rep. Res. Lab. Eng. Mater.*, (4), 141.
320. Young, C. (2006). *Mechanical and perceived behaviour of synthetic turf field hockey pitches*. Tesis doctoral. Loughborough University.
321. Young, C., Fleming, P. R., Dixon, N., Jones, R., & Roberts, J. R. (2004). Correlating playing performance tests with human perceptions for synthetic field hockey pitches. *Sports Engineering*, 7(4), 220.
322. Young, W. B., McDOWELL, M. H., & SCARLETT, B. J. (2001). Specificity of sprint and agility training methods. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 15(3), 315–319.
323. Yung, P. S.-H., Chan, R. H.-K., Wong, F. C.-Y., Cheuk, P. W.-L., & Fong, D. T.-P. (2007). Epidemiology of injuries in Hong Kong elite badminton athletes. *Research in Sports Medicine*, 15(2), 133–146.
324. Zadpoor, A. A., Nikooyan, A. A., & Arshi, A. R. (2007). A model-based parametric study of impact force during running. *Journal of Biomechanics*, 40(9), 2012–2021.
325. Zafra, A. O., Toro, E. O., Andréu, J. M. P., & Redondo, A. B. (2009). Percepción de los tenistas respecto a los factores que pueden provocar lesiones:: diferencias entre federados y no federados. *Cuadernos de Psicología Del Deporte*, 9(2), 7–18.
326. Zafra, A. O., Toro, E. O., & Cano, L. A. (2007). Percepción de los futbolistas juveniles e influencia del trabajo psicológico en la relación entre variables psicológicas y lesiones. *Cuadernos de Psicología Del Deporte*, 7(2), 75–87.

327. Zamparo, P., Perini, R., Orizio, C., Sacher, M., & Ferretti, G. (1992). The energy cost of walking or running on sand. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 65(2), 183–187.
328. Zanetti, E. M. (2009). Amateur football game on artificial turf: Players' perceptions. *Applied Ergonomics*, 40(3), 485–490.
329. Zhu, Z. X. (2014). Influences of Tennis Shoe Sole with Different Materials on Athletes' Movement. *Applied Mechanics and Materials*, 525, 77–80.

Anexos

Anexo I. Encuesta de identificación de los valores de referencia.

Anexo II. Encuesta de validación de los valores de referencia tras partido.

Anexo III. Encuesta de validación de los valores de referencia tras circuito controlado.

Anexo IV. Consentimiento informado.

Anexo V. Propuesta de norma técnica para la regulación de los pavimentos de césped artificial para pádel.

Anexo I. Encuesta de identificación de los valores de referencia.

Información sobre el deportista
1. Sexo: <ul style="list-style-type: none">- Hombre ()- Mujer ()
2. ¿Está federado? <ul style="list-style-type: none">- Sí ()- No ()
3. ¿Participa en competiciones? <ul style="list-style-type: none">- Sí ()- No ()
4. ¿Es esta la instalación en la que practica pádel habitualmente? <ul style="list-style-type: none">- Sí ()- No ()
5. ¿Juega en otros clubs? <ul style="list-style-type: none">- Sí ()- No ()
6. ¿Cuánto tiempo lleva jugando al pádel? <ul style="list-style-type: none">- Menos de un año ()- Entre 1 y 3 años ()- Entre 3 y 5 años ()- Más de 5 años ()
7. ¿Cuántas horas dedica a la semana a jugar al pádel? <ul style="list-style-type: none">- Entre 1 y 3 horas ()- Entre 3 y 5 horas ()- Más de 5 horas ()

Desde el punto de vista de la dureza, ¿cómo crees que es la pista?

Muy blanda	Blanda	Ni blanda ni dura	Dura	Muy dura
1	2	3	4	5

Desde el punto de vista de la resbaladidad, ¿cómo crees que es la pista?

Resbala mucho	Resbala poco	No resbala ni mucho ni poco	Frena un poco	Frena mucho
1	2	3	4	5

¿Cómo crees que es el bote de la pelota en esta pista?

Bota muy poco	Bota poco	No bota ni mucho ni poco	Bota mucho	Bota demasiado
1	2	3	4	5

Desde el punto de vista de la dureza:

Prefiero la pista más dura	La dureza de la pista es perfecta	Prefiero la pista más blanda
1	2	3

Desde el punto de vista de la resbaladidad:

Prefiero que la pista resbale más	No resbala demasiado ni frena demasiado	Prefiero que la pista frene más
1	2	3

Desde el punto de vista del bote de la pelota:

Prefiero que la pelota bote más	El bote de la pelota es perfecto	Prefiero que la pelota bote menos
1	2	3

Anexo II. Encuesta de validación de los valores de referencia tras partido.

Información sobre el deportista
<p>1. Sexo:</p> <ul style="list-style-type: none">- Hombre ()- Mujer ()
<p>2. ¿Está federado?</p> <ul style="list-style-type: none">- Sí ()- No ()
<p>3. ¿Participa en competiciones?</p> <ul style="list-style-type: none">- Sí ()- No ()
<p>4. ¿Es esta la instalación en la que practica pádel habitualmente?</p> <ul style="list-style-type: none">- Sí ()- No ()
<p>5. ¿Juega en otros clubs?</p> <ul style="list-style-type: none">- Sí ()- No ()
<p>6. ¿Cuánto tiempo lleva jugando al pádel?</p> <ul style="list-style-type: none">- Menos de un año ()- Entre 1 y 3 años ()- Entre 3 y 5 años ()- Más de 5 años ()
<p>7. ¿Cuántas horas dedica a la semana a jugar al pádel?</p> <ul style="list-style-type: none">- Entre 1 y 3 horas ()- Entre 3 y 5 horas ()- Más de 5 horas ()
<p>8. ¿Usas zapatillas específicas para pádel? (marcar con una x)</p> <ul style="list-style-type: none">- Sí ()- No ()
<p>9. En caso de ser específicas para pádel, ¿qué tipo de suela usa?</p> <ul style="list-style-type: none">- Espiga ()- Omni (tacos pequeños) ()- Mixta (espiga y tacos pequeños) ()- Otra () (especifique cuál: _____)

Desde el punto de vista de la dureza, ¿cómo crees que es la pista?

Muy blanda	Blanda	Ni blanda ni dura	Dura	Muy dura
1	2	3	4	5

Desde el punto de vista de la resbaladidad, ¿cómo crees que es la pista?

Resbala mucho	Resbala poco	No resbala ni mucho ni poco	Frena un poco	Frena mucho
1	2	3	4	5

¿Cómo crees que es el bote de la pelota en esta pista?

Bota muy poco	Bota poco	No bota ni mucho ni poco	Bota mucho	Bota demasiado
1	2	3	4	5

Desde el punto de vista de la dureza:

Prefiero la pista más dura	La dureza de la pista es perfecta	Prefiero la pista más blanda
1	2	3

Desde el punto de vista de la resbaladidad:

Prefiero que la pista resbale más	No resbala demasiado ni frena demasiado	Prefiero que la pista frene más
1	2	3

Desde el punto de vista del bote de la pelota:

Prefiero que la pelota bote más	El bote de la pelota es perfecto	Prefiero que la pelota bote menos
1	2	3

La sensación de seguridad durante el juego es:

Muy mala	Mala	Ni buena ni mala	Buena	Muy buena
1	2	3	4	5

La sensación de rendimiento durante el juego es:

Muy mala	Mala	Ni buena ni mala	Buena	Muy buena
1	2	3	4	5

En general, considero que la superficie de juego es:

Muy mala	Mala	Ni buena ni mala	Buena	Muy buena
1	2	3	4	5

Anexo III. Encuesta de validación de los valores de referencia tras circuito controlado.

Información sobre el deportista
<p>1. Sexo:</p> <ul style="list-style-type: none">- Hombre ()- Mujer () <p>2. ¿Está federado?</p> <ul style="list-style-type: none">- Sí ()- No () <p>3. ¿Participa en competiciones?</p> <ul style="list-style-type: none">- Sí ()- No () <p>4. ¿Es esta la instalación en la que practica pádel habitualmente?</p> <ul style="list-style-type: none">- Sí ()- No () <p>5. ¿Juega en otros clubs?</p> <ul style="list-style-type: none">- Sí ()- No () <p>6. ¿Cuánto tiempo lleva jugando al pádel?</p> <ul style="list-style-type: none">- Menos de un año ()- Entre 1 y 3 años ()- Entre 3 y 5 años ()- Más de 5 años () <p>7. ¿Cuántas horas dedica a la semana a jugar al pádel?</p> <ul style="list-style-type: none">- Entre 1 y 3 horas ()- Entre 3 y 5 horas ()- Más de 5 horas () <p>8. Modelo de zapatilla con el que ha realizado el circuito relativo a esta encuesta:</p> <ul style="list-style-type: none">- ZAP_1 ()- ZAP_2 ()- ZAP_3 ()

Considero que el agarre de la zapatilla con el suelo en el inicio de carrera es:

Muy malo	Malo	Ni bueno ni malo	Bueno	Muy bueno
1	2	3	4	5

Me gustaría que el agarre en el inicio de carrera fuera:

Mayor	Igual	Menor
1	2	5

Considero que la facilidad para realizar cambios de ritmo utilizando esta zapatilla es:

Muy baja	Baja	Ni alta ni baja	Alta	Muy alta
1	2	3	4	5

Considero que el agarre de la zapatilla durante los cambios de dirección (agarre lateral) es:

Muy malo	Malo	Ni bueno ni malo	Bueno	Muy bueno
1	2	3	4	5

Me gustaría que el agarre en los cambios de dirección (agarre lateral) fuera:

Mayor	Igual	Menor
1	2	5

Considero que la capacidad de amortiguación del pavimento durante los apoyos/saltos es:

Muy malo	Malo	Ni bueno ni malo	Bueno	Muy bueno
1	2	3	4	5

Me gustaría que la amortiguación del pavimento fuera:

Mayor	Igual	Menor
1	2	5

Considero que el rendimiento logrado con esta zapatilla es:

Muy malo	Malo	Ni bueno ni malo	Bueno	Muy bueno
1	2	3	4	5

Considero que la seguridad que me da esta zapatilla jugando al pádel es:

Muy baja	Baja	Ni alta ni baja	Alta	Muy alta
1	2	3	4	5

Anexo IV. Consentimiento informado.



INSTITUTO DE
BIOMECÁNICA
DE VALENCIA

Consentimiento informado

Yo, _____ con DNI/Pasaporte,
_____ habiendo sido suficientemente informado/a por:
_____ (*nombre del investigador a quien
he podido hacer preguntas sobre el proyecto*)

a) de los objetivos del proyecto “Identificación de los valores de referencia de los pavimentos de césped artificial destinados a la práctica del pádel”, que se realiza en el Instituto de Biomecánica de Valencia,

b) de las tareas a realizar y condiciones de las mismas,

c) del uso que se le va a dar a la información obtenida mediante mi colaboración,

d) de que los datos serán tratados y custodiados con respeto a mi intimidad y a la vigente normativa de protección de datos,

e) de que sobre estos datos me asisten los derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición que podré ejercer mediante solicitud ante la investigadora responsable en la dirección de contacto que figura en este documento,

f) de que estos datos no podrán ser cedidos sin mi consentimiento expreso y no lo otorgo en este acto.

Doy mi consentimiento sólo para la investigación de la que se me ha informado y exclusivamente para ella, sin posibilidad de compartir o ceder los datos, en todo o en parte, a ningún otro investigador, grupo o centro distinto del responsable de esta investigación o para cualquier otro fin.

Entiendo que mi participación es voluntaria.

Declaro que he leído y conozco el contenido del presente documento, comprendo los compromisos que asumo y los acepto expresamente. Y, por ello, firmo este consentimiento informado de forma voluntaria para manifestar mi deseo de participar en este estudio de INVESTIGACIÓN.

Al firmar este consentimiento no renuncio a ninguno de mis derechos. Recibiré una copia de este consentimiento para guardarlo y poder consultarlo en el futuro.

Firma del participante	Fecha

Nombre del investigador: _____

DNI/Pasaporte del investigador: _____

Firma del investigador	Fecha

Datos de contacto del Investigador responsable de la investigación:

Mercedes Sanchís Almenara
Instituto de Biomecánica de Valencia
Universitat Politècnica de València - Edificio 9C
46021 - Valencia
Tel: +34 96 111 11 70 / +34 610 567 200

Anexo V. Propuesta de norma técnica para la regulación de los pavimentos de césped artificial para pádel.

TÍTULO: Superficies deportivas de césped artificial para la práctica del pádel. Requisitos.

PRÓLOGO

Esta norma española UNE XXXX ha sido elaborada por el subcomité SC3 – Superficies Deportivas correspondiente al Comité Técnico de Normalización CTN 147 Deportes. Equipamientos e Instalaciones Deportivas.

1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

El objetivo de esta norma es servir como documento de referencia para la construcción, inspección y mantenimiento de pavimentos de césped artificial destinadas a la práctica del pádel.

2. NORMAS PARA CONSULTA

Los documentos que a continuación se nombran son imprescindibles para la aplicación de esta norma.

UNE EN 933-1:2012 Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado.

UNE EN 12228:2014 Pavimentos deportivos. Determinación de la resistencia de las juntas de los pavimentos sintéticos.

UNE EN 12235:2014 Superficies deportivas. Determinación del comportamiento vertical de una pelota o balón.

UNE EN 12616:2014 Superficies para áreas deportivas. Determinación de la infiltración de agua.

UNE EN 13036-4:2012 Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo. Parte 4: Método para la medición de la resistencia al deslizamiento/derrape. Ensayo del péndulo.

UNE EN 13036-7:2004 Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo. Parte 7: Medición de las deformaciones localizadas de capas de rodadura de calzadas. Ensayo de la regla.

UNE EN 13672:2005 Superficies deportivas. Determinación de la resistencia a la abrasión de césped sintético sin relleno.

UNE EN 13744:2006 Superficies deportivas. Método de envejecimiento acelerado por inmersión en agua caliente.

UNE EN 13864:2006 Superficies deportivas. Determinación de la resistencia a tracción de las fibras sintéticas.

UNE EN 14808:2006 Superficies deportivas. Determinación de la absorción de impactos.

UNE EN 14836:2006 Superficies sintéticas para espacios deportivos de exterior. Envejecimiento artificial.

UNE EN 14955:2006 Superficies deportivas. Determinación de la composición y forma de las partículas de los suelos minerales no aglomerados para espacios deportivos de exterior.

UNE EN 15330-1:2014 Superficies deportivas. Superficies de hierba artificial y punzonadas principalmente diseñadas para uso exterior. Especificaciones para hierba artificial.

UNE EN 20105-A02:1998 Textiles. Ensayos de solidez del color. Parte A02: Escala de grises para evaluar la degradación. (ISO 105-A02:1993)

3. DEFINICIONES

En el contexto de esta norma se aplican los siguientes términos y definiciones:

Césped artificial: pavimento compuesto por soporte o *backing*, fibra y arena.

Soporte o *backing*: tejido formado por una o dos capas de polipropileno que puede estabilizarse con poliéster o fibra de vidrio, sobre el cual se introducen los filamentos que conforman la fibra de césped artificial.

Fibra: filamentos de material polimérico que sobresalen del soporte o *backing* y dan al césped artificial un aspecto similar al césped natural.

4. PAVIMENTO DEPORTIVO

4.1 Generalidades

4.1.1. Resistencia al arranque de la fibra

Cuando se somete a ensayo conforme a la norma UNE EN 13864, la resistencia mínima al arranque de la fibra utilizada debe ser superior a 20 N.

4.1.2 Resistencia al envejecimiento artificial

4.1.2a. Solidez del color

Cuando se ensaya de acuerdo con la norma UNE EN 20105-A02 siguiendo el envejecimiento artificial de acuerdo con la norma UNE EN 14836, el cambio de color de la hierba artificial envejecida comparada con una muestra no envejecida de la misma hierba artificial debe ser de 4 en la Escala de Grises o mayor.

4.1.2b. Resistencia a tracción de la fibra

Cuando se ensaya de acuerdo con la norma UNE EN 13864 siguiendo el envejecimiento artificial de acuerdo con la norma UNE EN 14836, la resistencia a la tracción de la(s) fibra(s) utilizada(s) para formar la hierba artificial debe estar dentro del 50% de la resistencia a la tracción del hilo no envejecido.

4.1.3 Permeabilidad al agua

Cuando se ensaya de acuerdo con la norma UNE EN 12616, la velocidad de infiltración de agua de las superficies ensayadas para ser permeables debe ser igual o mayor de 180 mm/h.

4.1.4 Resistencia de la unión

4.1.4a. Uniones cosidas

Cuando se ensaya de acuerdo con el Método 1 de la norma UNE EN 12228 después de la inmersión en agua caliente de acuerdo con la norma UNE EN 13744, la resistencia de las uniones cosidas debe ser igual o mayor de 1000 N/100 mm.

4.1.4b. Uniones pegadas

Cuando se ensaya de acuerdo con el Método 2 de la norma UNE En 12228 después de la inmersión en agua caliente de acuerdo con la Norma Europea EN 13744, la resistencia de las uniones pegadas debe ser igual o mayor a 25 N/100 mm.

4.1.6 Propiedades de la arena

En caso de que el pavimento utilizado cuente con arena como material de relleno, ésta deberá ser redondeada, sin aristas y con un contenido en SiO₂ ≥ 95% y en CaO ≤ 1% de acuerdo a la norma UNE EN 14955. De acuerdo a la norma UNE EN 933-1 su granulometría deberá estar entre 0.80 y 0.25 mm.

4.2 Absorción de impactos

Cuando se ensaya de acuerdo con la norma UNE EN 14808 en condiciones tanto húmedas como secas, la absorción de impactos debe estar entre 15% y 21%.

4.3 Fricción lineal

Cuando se ensaya de acuerdo con la norma UNE EN 13036-4 utilizando el pie de ensayo de caucho de CEN, en condiciones tanto secas como húmedas, la resistencia al deslizamiento debe estar entre 80 y 110.

Las probetas húmedas deben prepararse aplicando uniformemente un volumen de agua que empape completamente la probeta (en caso de duda, ésta debería ser igual al volumen de la probeta). Después de humedecerla, la probeta deberá dejarse drenar durante 15 minutos y se realizará el ensayo inmediatamente después.

4.4 Bote vertical de pelota

Cuando se ensaya de acuerdo con la norma UNE EN 12235 utilizando una pelota de pádel, en condiciones tanto secas como húmedas, el rebote vertical de la pelota debe estar entre 94% y 97%.

ANEXO A. ENSAYOS IN SITU

Los ensayos que se deben llevar a cabo sobre cada uno de los elementos de una pista instalada son los siguientes:

- Amortiguación de impactos.
- Bote vertical de la pelota.
- Fricción.
- Drenaje.
- Planimetría.

La siguiente figura muestra las zonas donde deben llevarse a cabo cada uno de los ensayos. Amortiguación de impactos, bote vertical de la pelota, fricción y drenaje se evaluarán en los puntos 1, 2, 3 y 4; planimetría se evaluará a lo largo de toda la pista:

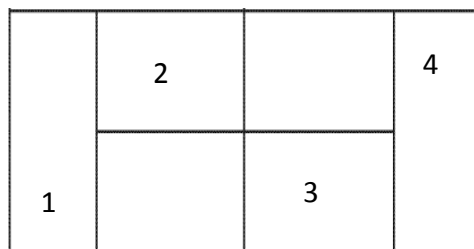


Figura 1. Zonas de ensayo de una pista de pádel.

ANEXO B. DOCUMENTACIÓN A APORTAR

Con el objetivo de contar con una garantía por parte de los fabricantes, la empresa fabricante o suministradora del césped artificial deberá contar con un informe de laboratorio que certifique que el césped cumple con los requisitos especificados en los apartados 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4 de este documento.

Deberá adjuntar además una ficha técnica del producto en la que se especifique la siguiente información del mismo:

- Masa por unidad de superficie.
- Penachos por unidad de superficie.
- Longitud de la fibra.
- Fuerza de arranque de la fibra.
- Masa por unidad de superficie, resistencia a tracción y espesor de la capa elástica (en caso de que el producto se instale con esta capa).
- Granulometría, forma y densidad aparente de la arena.
- Cantidad de arena que se instala en el producto (en kg/m²).
- Material que compone la fibra.

ANEXO C. IDENTIFICACIÓN DE PRODUCTO

La siguiente tabla muestra los ensayos de caracterización que deben llevarse a cabo para realizar una identificación del césped artificial. La variación aceptable en cada una de las propiedades será de $\pm 10\%$.

Para la realización de los ensayos se deben acondicionar las muestras durante al menos 3 horas a una temperatura de $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y realizar los ensayos dentro del mismo intervalo de temperatura.

CARACTERÍSTICA	MÉTODO DE ENSAYO
Masa por unidad de superficie	ISO 8543
Penachos por unidad de área	ISO 1763
Longitud de la fibra	ISO 2549
Fuerza de arranque de la fibra	ISO 4919
Masa por unidad de superficie de la capa elástica	EN 430
Resistencia a tracción de la capa elástica	EN 12230

Espesor de la capa elástica	EN 1969
Granulometría de la arena	EN 933-1
Forma de las partículas de arena	EN 14955
Densidad aparente de la arena	EN 1097-3
Grado de medida y puntada	ISO 1763
Identificación de la fibra por DSC	ISO 11357-3

ANEXO D. RECOMENDACIONES SOBRE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO

NOTA: El contenido de este Anexo es meramente a título informativo y pretende recoger una serie de recomendaciones generales en relación al mantenimiento a llevar a cabo sobre los pavimentos de césped artificial destinados a la práctica del pádel. Las necesidades específicas de cada pavimento en relación al mantenimiento que precisan serán indicadas por el fabricante o suministrador.

El mantenimiento de una superficie de hierba artificial es de vital importancia para que la pista conserve sus propiedades y se prolongue su ciclo de vida. La garantía del fabricante estará normalmente supeditada a que se lleven a cabo los requisitos de mantenimiento recomendados con una diligencia razonable.

Durante la oferta/instalación de una pista, el fabricante o suministrador debe proporcionar los detalles completos de los niveles de mantenimiento requeridos por la superficie y los detalles de cualquier equipo especializado requerido.

En caso de no ser así, a continuación se muestran de forma genérica las operaciones de mantenimiento que se recomienda llevar a cabo sobre las superficies de césped artificial para la práctica del pádel. Si bien, cabe destacar que en caso de existir, deben seguirse las instrucciones ofrecidas por el fabricante o instalador:

- Limpieza: eliminación de hojas, semillas, malas hierbas y otro tipo de restos que puedan descomponerse y propiciar la aparición de hongos en las superficie. Se deberá llevar a cabo mediante el uso de un cepillo o rastrillo suaves con dientes de goma o plástico. También puede utilizarse un soplador pero siempre teniendo en cuenta que no afecte a la distribución de la arena en la superficie.
- Redistribución de la arena: se realizará mediante un cepillo ancho con hebras de dureza intermedia (en caso de duda, consulte a la empresa instaladora). El objetivo de esta operación es equilibrar el nivel de arena, evitando que en unas zonas la fibra esté totalmente cubierta y en otras quede demasiada fibra libre

de arena. Una mala distribución de la misma puede afectar tanto al desgaste de la pista como al juego pudiendo provocar un comportamiento inesperado de la pelota o problemas de resbaladidad en la interacción entre el calzado deportivo y el pavimento. El cepillado de la pista deberá realizarse en dos sentidos perpendiculares (longitudinal y transversal).

- Eliminación de hongos y musgo: en zonas poco usadas de las pistas (zona perimetral principalmente) y sombrías es posible que se produzca la aparición de hongos y/o musgo. Se recomienda la prevención de su aparición mediante la aplicación de fungicida que no contenga base de aceite (en caso de duda consulte con la empresa instaladora).
- Verificación de las juntas: evaluación profunda del estado de las juntas de unión de la pista. En caso de que la separación de una junta sea detectada durante una inspección u operación de mantenimiento rutinaria deberá ser reparada de forma inmediata con el objetivo de que aumente el tamaño de la rotura, lo que complicaría su reparación.
- Limpieza profunda y descompactación del material de relleno: se llevará a cabo por una empresa especializada y consistirá en la retirada, limpieza y reinstalación de la arena de relleno. Esto mejorará tanto las propiedades de la pista (a nivel de juego) como su capacidad de drenaje.

La siguiente tabla muestra la periodicidad de las operaciones de mantenimiento mencionadas y quién debería llevarlas a cabo (la propiedad o una empresa especializada):

OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO	A CARGO DE	PERIODICIDAD
Limpieza	Propiedad	Semestral
Redistribución de la arena	Propiedad	Quincenal
Eliminación de hongos y musgo	Propiedad	Semestral
Comprobación de las juntas	Propiedad	Quincenal
Reparación de las juntas	Empresa especializada	Cuando sea necesario
Limpieza profunda y descompactación	Empresa especializada	Semestral