

Evaluación y caracterización biomecánica de los trinquetes de pelota valenciana

Biomechanical assessment and characterization of the Valencian ball trinquetes

Ana María Montaner Sesmero

Conselleria de Educación de Valencia, España

Salvador Llana Belloch

Universidad de Valencia, España

Carlos Montaner Sesmero

Conselleria de Educación de Valencia, España

Enrique Alcántara Alcover

Instituto de Biomecánica de Valencia, España

Resumen

El trinquete es la instalación de referencia en la práctica de la pelota valenciana, donde se juegan las modalidades profesionales de escala i corda y raspall. Sin embargo, no existe una normativa ni procedimientos de ensayo específicos que permitan definir las características mecánicas que deben reunir paredes y pavimento del trinquete, para que los jugadores tengan una práctica segura y optimicen su rendimiento. El objetivo de este estudio fue analizar diferentes variables mecánicas en las instalaciones de juego, determinar los procedimientos de ensayo más adecuados y, finalmente, proponer unos valores mecánicos que definan una instalación de calidad. Los estudios se llevaron a cabo en 10 trinquetes de la Comunidad Valenciana. Se realizaron ensayos de fricción y de bote de pelota. Los resultados revelan que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) a nivel mecánico entre trinquetes catalogados en "buen estado" y en "mal estado". El estudio define los rangos óptimos de fricción rotacional del pavimento (0,67 - 0,84), de altura del bote vertical sobre el pavimento (0,943 m \pm 0,053) y del "pace" para el bote angulado en el pavimento (pace = 80 - 86) y en la pared (pace = 81 - 87). En el caso de la fricción longitudinal, se ha detectado un déficit que debería subsanarse con el estudio de nuevos pavimentos.

Palabras clave: trinquete; pelota valenciana; normal; ensayos mecánicos.

Abstract

The trinquete is the reference facility in the practice of Valencian ball game, where professionals play escala i corda and raspall. However, there is not a standard or specific test procedures to determine the mechanical characteristics of walls and surface in order to obtain a safety practice and high performance for players. The aim of this survey was to explain the test procedures, to analyze different mechanical variables in the game facilities and to establish the quality mechanical values. Friction and bounce ball tests were performed in 10 trinquetes of Valencian Community, separated into two groups in function of their quality. The results show that exist mechanical significant differences ($p < 0.05$) between "good" and "bad" trinquetes. The study define the optimal range of the rotational friction for the surface (0.67 - 0.84), the vertical height of the bounce in the pavement (0.943 m \pm 0.053) and the pace of the angulate bounce in the surface (pace = 80 - 86) and in the wall (pace = 81 - 87). It observed the necessity of further researches of new surfaces to improve the deficit of the longitudinal friction in current surfaces.

Key words: trinquete; Valencian ball game; standard; mechanical tests.

Correspondencia/correspondence: Salvador Llana Belloch

Universidad de Valencia, Departamento de Educación Física. C/ Gascó Oliag, nº 3. 46010 Valencia (España)

E-mail: salvador.llana@uv.es

Introducción

La pelota valenciana es un deporte autóctono y tradicional de la Comunidad Valenciana practicado en los trinquetes desde el siglo XIV (Conca, García, Gimeno, Llopis, Naya y Pérez, 2003; Conca y Pérez, 1999). El trinquete es una instalación asimétrica similar a un frontón, en la que se practican las dos modalidades principales: *escala i corda* y *raspall* (Llopis, 1999; Millo, 1976; Moreno, 1992; Olaso, 1994; Soldado, 1999). El recinto de juego está constituido por cuatro paredes, dos laterales que reciben el nombre de *murallas* y dos frontales que se conocen como *rebots* (del resto y del *dau*); el pavimento y una *escala* de cuatro peldaños (*grada*). Otro elemento característico es la *corda* (utilizada en la modalidad de *escala i corda*) que divide el terreno de juego en dos mitades, situada a una altura de 1.90 m. Por último, destacar el *dau*, ubicado en el ángulo que forma la *escala* con el *rebot* y formado por dos rectángulos, uno en la pared y otro en el pavimento (Conca y col., 2003; Conca y col., 1999; Vilalta, 1986) (figura 1).

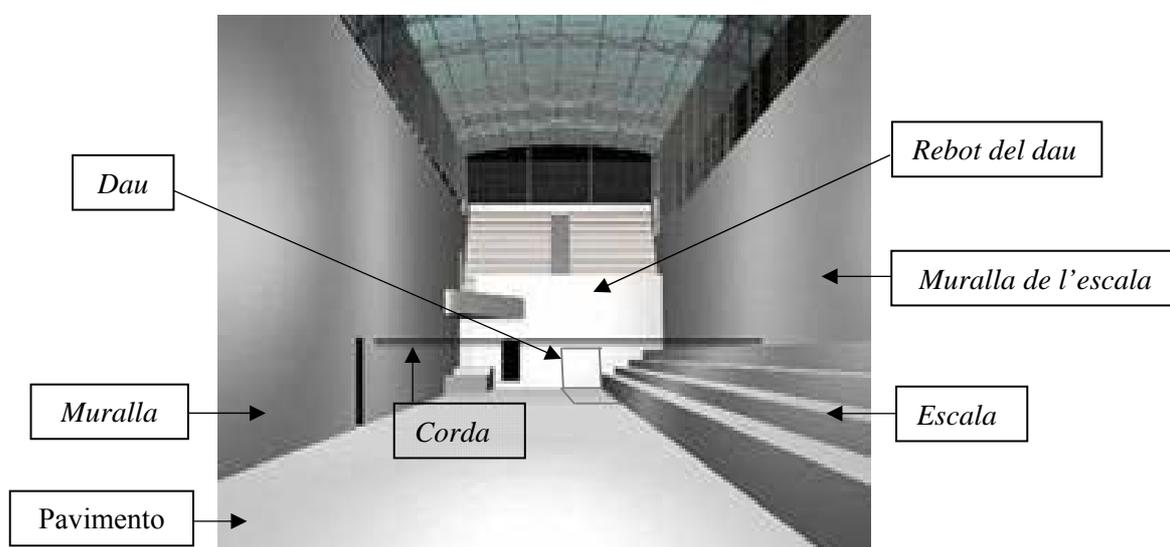


Figura 1. Partes de un trinquete de pelota valenciana.

Actualmente las modalidades de pelota que cuentan con un mayor número de licencias federativas son *escala i corda* y *raspall* (Federació de Pilota Valenciana, 2011), ambas practicadas en el trinquete. Esta circunstancia destaca la relevante función que tiene esta instalación en la promoción y desarrollo de la pelota valenciana. Sin embargo, cabe señalar que existen numerosos trinquetes que no reúnen buenas condiciones para el desarrollo de la práctica deportiva: vestuarios en mal estado, pavimentos agresivos para el deportista, zonas de juego deterioradas, ausencia de condiciones mínimas de higiene, etc. (Montaner, 2010). En la mayoría de los deportes se controla y mejora la calidad de las instalaciones mediante normativas que regulan estos aspectos. Asimismo, se establecen los métodos de estudio y los requisitos mecánicos que deben cumplir las superficies de juego para garantizar el rendimiento deportivo y la práctica segura del deporte. En este sentido, los pavimentos de la mayoría de los deportes existentes: atletismo, baloncesto, fútbol, voleibol, balonmano, etc. quedan contemplados en dichas normas, cuyos procedimientos de ensayo podrían dividirse en dos grandes grupos: (1) aquellos que simulan la interacción entre el jugador y el pavimento y (2) los que analizan la interacción de la pelota con el pavimento (EN 12234: 2002; EN 12235:

2004/AC: 2006; EN 13865: 2006; FIFA, 2009; UNE 41958: 2000 IN; UNE-EN 14808: 2006; UNE-EN 14904: 2006). No obstante, a pesar de la importancia que tiene el estudio regulado de los pavimentos, la pelota valenciana carece de una normativa propia que establezca los parámetros mecánicos de referencia de las zonas de juego (paredes y pavimentos), para ser catalogada como una instalación de calidad.

Respecto al estudio de la interacción entre el jugador y el pavimento, cabe señalar la fricción como una de las propiedades de los pavimentos deportivos que más preocupa a los investigadores en biomecánica, dado que muchas de las lesiones que sufren los deportistas se atribuyen a niveles inadecuados de ésta (Ekstrand y Nigg, 1989; Nigg, 1990). Por otro lado, el desplazamiento humano no sería posible sin la fricción (Nigg y Yeadon, 1987), por lo tanto, conocer la relación entre las características de fricción demandadas y las disponibles, es un factor clave para la seguridad de los pavimentos (Kim y Nagata, 2008) y para la mejora del rendimiento deportivo (Cham y Redfern, 2002; Li, Yu y Han, 2007).

El coeficiente de fricción es el parámetro más utilizado para conocer las características de fricción de los pavimentos deportivos. Así, las normativas actuales sobre pavimentos deportivos indican qué coeficiente de fricción es el óptimo para la práctica deportiva (UNE-EN 14904:2006 y UNE 41958:2000 IN). Niveles inferiores podrían ocasionar deslizamientos del calzado sobre el pavimento, mientras que con niveles superiores el pie quedaría excesivamente fijo en cada apoyo. En ambos casos disminuye el rendimiento deportivo y aumenta el riesgo de sufrir lesiones. En algunos deportes, como el atletismo o el tenis, se han establecido los coeficientes óptimos para la relación calzado-pavimento. Sin embargo en el caso de la pelota valenciana, no existen estudios que hayan determinado cuál es el coeficiente de fricción recomendable para el pavimento de los trinquetes.

Por otro lado, los métodos de estudio utilizados para determinar las características de fricción de un pavimento deportivo se deben centrar en el efecto que ejercen sobre los deportistas, con el objetivo de establecer un rango óptimo de fricción pavimento-calzado (Durá, Alcántara, Rosa, Gámez y González, 2006). A continuación, se describen los métodos más utilizados para analizar la fricción de acuerdo con la descripción realizada en la normativa actual:

- El método del péndulo

Se utiliza un péndulo calibrado para medir la fricción longitudinal y puede aplicarse a todo tipo de superficies. En concreto, este aparato mide el coeficiente de fricción al deslizamiento. Consiste en colocar el péndulo, cubierto por una suela de neumático, de forma que roce con el pavimento al pasar por la parte más baja de su trayectoria. Cuanto mayor sea el rozamiento menor será la altura que alcanza en la fase final del movimiento. Los valores que ofrece este instrumento de medida se encuentran dentro de una escala de 0 (fricción inexistente) a 150 (fricción máxima).

Según la normativa UNE-EN 13036-4, citado en la norma UNE-EN 14904:2006 para superficies deportivas y suelos multideportivos de interior, el coeficiente de fricción al deslizamiento debe estar entre 80 y 110 (valor de la media) en la escala de dicho péndulo.

- Aparato de deslizamiento de Stuttgart

Este aparato se utiliza para evaluar la fricción rotacional, tal y como queda regulado en la normativa UNE 41958:2000 IN. Consiste en un eje guiado verticalmente que se hace girar por medio de una pesa en suspensión que aplica un par torsor constante. Un sensor de fuerza mide el par de fricción que aparece cuando el pie de ensayo roza el pavimento. Debe tenerse en cuenta que el pie de ensayo es diferente para pavimentos de exterior e interior (figura 2).

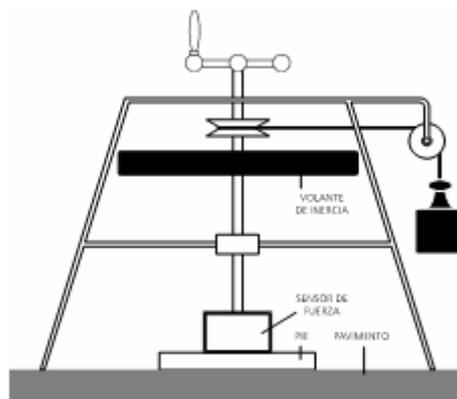


Figura 2. Aparato de deslizamiento de Stuttgart.

Los valores medios del coeficiente de fricción rotacional (μ) con cuero normalizado según la norma UNE 41958:2000 IN se sitúan en el rango: $0,4 \leq \mu \leq 0,8$.

En relación al estudio de la interacción de la pelota con el pavimento, es necesario estudiar el bote, pues determina considerablemente las características del juego. En deportes como el baloncesto, el tenis, el golf o la pelota valenciana, una de las preocupaciones principales de los jugadores es que el esférico bote con el ángulo y la velocidad adecuada.

En cuanto al bote vertical de la pelota, se observa que en la mayoría de los reglamentos deportivos se especifica la altura del bote de la pelota para una determinada altura de caída y sobre un determinado pavimento. Si el bote está por encima o por debajo del rango establecido el juego se verá afectado. Sin embargo, en pelota valenciana no existe ningún reglamento que establezca cuál es el rango óptimo de bote.

A continuación, se muestran los métodos de ensayo de bote vertical de la pelota, contemplados en la normativa actual. Según la norma EN 12235: 2004/AC 2006, se deja caer un balón o pelota sobre una superficie, posteriormente se mide la altura hasta la que rebota y se calcula el porcentaje que representa la altura del rebote.

Existen dos métodos de registro:

1. Método visual: registra la altura máxima del balón, realizando la medición desde el punto más bajo de la pelota o balón. El ensayo precisa de una cinta métrica y de un vídeo.
2. Método acústico: según el cual se mide el tiempo que transcurre entre el primer y el segundo bote mediante la detección del sonido. Para lo cual se utiliza un micrófono y un cronómetro que se activa por sonido. La altura del bote será $H = 1,23(T - K_1)^2$; donde T es el tiempo en segundos, entre el primer y el segundo bote de la pelota y K_1 el factor de corrección indicado en la tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones de bote vertical para diferentes deportes según la norma UNE 12235: 2004/AC 2006.

Pelota	Altura de caída (m)	Altura de rebote sobre hormigón	K_I (s)
Tenis	2,54 m	1,410 m \pm 0,025 m	0,005
Baloncesto	1,80 m	1,300 m \pm 0,025 m	0,025
Fútbol	2,00 m	1,35 m \pm 0,05 m	-

En el caso del bote angulado de la pelota, según Pérez (2001), la fricción entre el esférico y la superficie es responsable de las variaciones en la velocidad, la dirección y la rotación del mismo. Además, según diversos autores, después de contactar la pelota con una superficie, y como consecuencia del rozamiento, ésta puede modificar su sentido de giro (Gutiérrez, 1999; Luttgens y Wells, 1982). Es lo que se conoce en el argot deportivo como los “efectos”. En pelota valenciana la pelota puede rebotar tanto en las paredes como en el pavimento, por lo tanto estas partes del trinquete deben ser homogéneas, para evitar que la pelota haga efectos extraños o cambie su comportamiento al rebotar en ellas. Efectos que los pelotaris llaman “mentir”.

Para evaluar el bote angulado de la pelota en el pavimento, se emplea la norma EN 13865: 2006 “Determinación del comportamiento del rebote angular de la pelota. Tenis”. En base a esta normativa, la Federación Internacional de Tenis (ITF) utiliza el Wassing Sestée. Esta máquina consta de dos cajas que necesitan un cañón neumático para proyectar la pelota (homologada por la ITF) a través de ellas a una velocidad de 30 ± 2 m/s y con un ángulo de acercamiento de $16^\circ \pm 2^\circ$.

El Wassing Sestée, utiliza la tecnología de las barreras de fotocélulas contenidas en sus dos cajas, para reconstruir matemáticamente la trayectoria de la pelota antes y después del impacto con el suelo, calculando así la distancia (figura 3).



Figura 3. Wassing Sestée.

Tras ver los métodos utilizados, llama la atención el hecho de que todas las normativas actuales se realicen mediante máquinas de ensayo y no con sujetos. No obstante, en los últimos años se ha publicado algún trabajo crítico con esta situación y reclamando la necesidad de completarlos con estudios hechos con deportistas (Pérez, Llana, Morey, Pérez, Cortell y Tillar, 2010).

Una vez analizada la problemática de los trinquetes de pelota, derivada de una carencia de normativa específica, se planteó el presente estudio con el que se pretende dar respuesta a las necesidades de estas instalaciones. En este sentido los objetivos del estudio han sido:

- Establecer los procedimientos de ensayo para analizar las características de fricción (longitudinal y rotacional) y bote (vertical y angulado) de las superficies de juego de los trinquetes (paredes y pavimento).
- Conocer el estado actual de los trinquetes mediante la realización de ensayos mecánicos de fricción (longitudinal y rotacional) y bote (vertical y angulado).
- Definir los valores de referencia de fricción (longitudinal y rotacional) y bote (vertical y angulado) que debe cumplir un trinquete para ser catalogado como instalación de calidad.

Material y métodos

Muestra de estudio

Para obtener la muestra de trinquetes en los que se iban a realizar los ensayos mecánicos de fricción, se realizó una encuesta telefónica a 61 pelotaris profesionales, en la cual se les preguntaba por 3 trinquetes que a su juicio se encuentran en buen estado y otros 3 que están en mal estado en la Comunidad Valenciana. Con la información obtenida se confeccionó un ránking de todos los trinquetes de la Comunidad Valenciana en función de su calidad según la opinión de los pelotaris. Para el estudio se seleccionaron los 4 trinquetes con mayor y menor puntuación. Por último, se incluyeron otros 2 trinquetes en el estudio: el trinquete de la UPV de Valencia, acabado mientras se hacía la encuesta y construido con unos estándares máximos de calidad, y el trinquete Pelayo de Valencia, por tratarse del trinquete más emblemático de este deporte. Ambos se incluyeron en el grupo denominado “en buen estado” (tabla 2).

Tabla 2. Muestra de trinquetes seleccionados para la realización del estudio.

Trinquetes en “buen estado”	Trinquetes en “mal estado”
Trinquete "El Zurdo" de Gandía	Trinquete de La Pobla de Vallbona
Trinquete de Guadassuar	Trinquete de Carcaixent
Trinquete de Benidorm	Trinquete de Castelló de la Ribera
Trinquete de Pedreguer	Trinquete de Oliva
Trinquete de la UPV	
Trinquete “Pelayo” de Valencia	

Variables analizadas

Las variables que se iban a analizar en los trinquetes se agruparon en dos bloques en función de los ensayos a realizar. Los ensayos mecánicos que simulan la interacción entre el jugador y el pavimento, que miden variables de fricción y los que analizan la interacción de la pelota con los elementos del trinquete, concretamente variables relacionadas con el bote angulado en paredes y pavimento y con el bote vertical (tabla 3).

Tabla 3. Ensayos a realizar en los trinquetes y variables de estudio.

Interacción jugador y pavimento	Variables
Fricción longitudinal	Coefficiente de fricción longitudinal del pavimento
Fricción rotacional	Coefficiente de fricción rotacional del pavimento
Interacción pelota elementos del trinquete	Variables
Bote angulado en el pavimento	“Pace” (cambio de velocidad): indica la reducción de la velocidad (v_2-v_1). Valor < 100.
	f (coeficiente de fricción): mide el coeficiente de fricción entre la pelota y el pavimento. A menor valor de f, menor fricción entre la pelota y el pavimento.
	Velocidad salida (m/s): muestra la velocidad que alcanza la pelota después del bote.
Bote angulado en la pared	e (coeficiente de restitución del bote de la pelota v_{n2}/v_{n1}): mide la pérdida de energía de la pelota en el eje vertical como resultado del contacto con la superficie.
	“Slidinglength” (distancia de deslizamiento en mm): muestra el desplazamiento entre el primer contacto de la pelota durante el bote y el último contacto del bote.
Bote vertical en el pavimento	Altura del primer bote (m).
	Altura del segundo bote (m).
	Porcentaje de variación entre el primero y el segundo bote.

Instrumentos y procedimiento

La evaluación de la fricción longitudinal del pavimento en la superficie de juego se llevó a cabo utilizando el Péndulo TRRL con zapatas de caucho CEN (Comité Europeo de Normalización) (figura 4). Estas zapatas son las más indicadas, pues simulan mejor la suela de las zapatillas y están recomendadas por la normativa de superficies deportivas (UNE- EN 14904: 2006). Este péndulo simula el gesto de un jugador al realizar un desplazamiento en dirección longitudinal.



Figura 4. Péndulo TRRL

Este ensayo se llevó a cabo siguiendo un procedimiento de análisis específico elaborado por el Instituto de Biomecánica de Valencia (Gámez, Rosa, Alcántara y Montaner, 2005). Según

este procedimiento de ensayo, la medición se realizaba en mojado, comprobando antes el estado y limpieza de la zapata y de la superficie.

Se seleccionaron 9 puntos del pavimento (figura 5), los cuales quedan descritos en la tabla 4. Se realizaron 5 medidas en cada punto siguiendo el protocolo de ensayo. Si el pavimento no era uniforme y tenía juntas se realizaban otras 5 medidas en los puntos 1, 2, 3, 4, 5 y 9 sobre las juntas longitudinales y otras 5 medidas en las juntas transversales con el péndulo siempre en la dirección del juego.

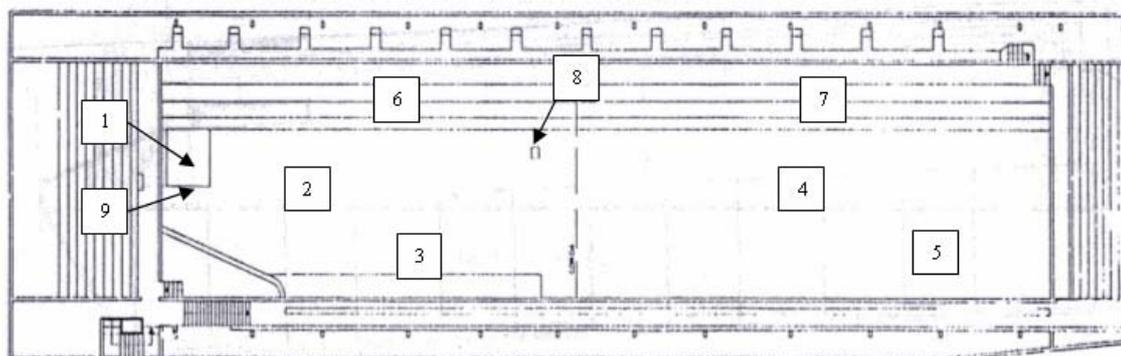


Figura 5. Localización de los puntos de ensayo de fricción longitudinal.

Cabe señalar, que al no existir una normativa relacionada con el análisis de la fricción en trinquetes de pelota valenciana, se estableció este protocolo de ensayo atendiendo a varios motivos:

- Abarcar todas las zonas del pavimento susceptibles de ser pisadas por los jugadores en el desarrollo de una partida.
- Incluir las zonas donde puede variar el coeficiente de fricción, es decir, las juntas que forman las losetas entre sí.
- Determinar 5 repeticiones por punto para conseguir una medición más robusta, soslayando así la variabilidad de las mediciones con el péndulo.

Tabla 4. Descripción de los puntos de ensayo de fricción longitudinal.

Puntos	Comentarios
1	En el área del <i>dau</i> .
2, 3, 4 y 5	Puntos en el terreno de juego. Péndulo en la dirección longitudinal del juego.
6 y 7	Puntos en la escalera. Nivelar el equipo con la inclinación de la escalera. Péndulo en dirección longitudinal al juego.
8	<i>Llosa o pedra</i> .
9	Sobre la línea del <i>dau</i> . En la perpendicular (dirección del avance).

En el caso de la fricción rotacional, se empleó la máquina de fricción rotacional con zapatas de caucho CEN (figura 6). Está máquina deja caer una masa girando sobre su eje vertical, al contactar ésta con el suelo, una célula de carga registra el momento rotatorio, a partir del cual

es posible conocer el valor de fricción rotacional que ofrece el pavimento. Esta máquina, por tanto, reproduce el gesto de rotación del pie de un deportista al realizar un giro y pivotar sobre el pie. UNE 41958:2000 IN.



Figura 6. Máquina de fricción rotacional.

Para este ensayo se utilizó un protocolo de ensayo, realizando las mediciones en seco y limpiando la superficie y la zapata antes de cada medición. En el procedimiento de ensayo se realizaban 3 repeticiones en los 5 puntos del terreno de juego indicados en la figura 7, sin coger juntas ni líneas de marcaje (norma UNE 41958: 2000 IN).

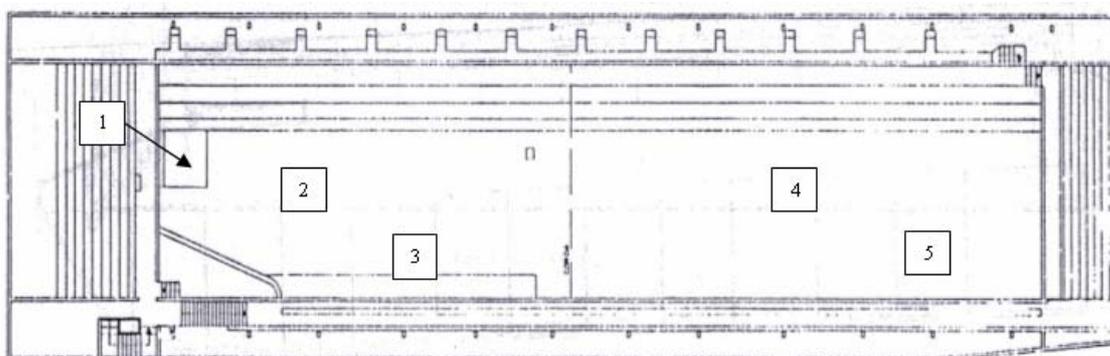


Figura 7. Localización de los puntos de ensayo en el ensayo de fricción rotacional, bote angulado en el pavimento y bote vertical.

El ensayo de bote vertical sobre la superficie de juego se realizó utilizando una estructura metálica de 2,5 m de altura y un aspirador que al apagarlo dejaba caer la pelota desde esa altura. En el suelo, con la ayuda de un micrófono conectado a un ordenador portátil dotado de un programa de adquisición de sonido, se determinó el tiempo de vuelo entre los dos primeros botes de la pelota en el pavimento (figura 8). Estos datos permiten calcular la altura del bote y la diferencia entre los mismos. Para los diferentes ensayos de bote, se utilizó una muestra de 6 pelotas de juego nuevas, las cuales se encontraban dentro de los mismos parámetros mecánicos (peso, dureza, bote (e_1) y diámetro), de modo que el uso de una u otra pelota no interfiriera en los resultados de los ensayos. Los datos mecánicos de las pelotas se obtuvieron del estudio de Gámez y Alcántara (2006) sobre caracterización de pelotas de pelota valenciana.

Cada ensayo se llevó a cabo utilizando de forma aleatoria una de las 6 pelotas de la muestra en los 5 puntos de la figura 7, repitiendo el bote sobre el mismo punto 3 veces (EN 12235:2004/AC 2006).

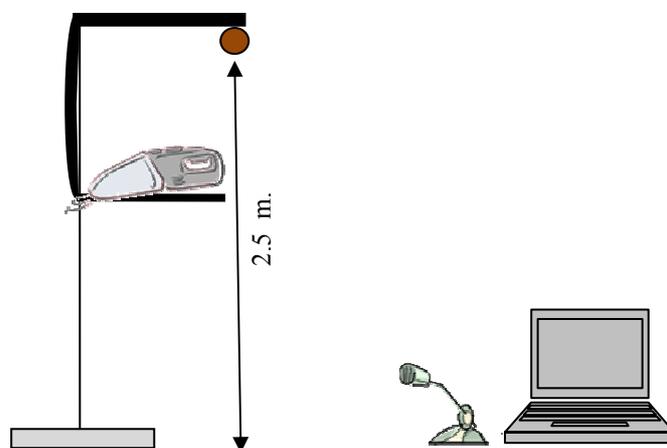


Figura 8. Dibujo del instrumental utilizado en el ensayo de bote vertical.

En los ensayos para determinar el comportamiento del bote angulado sobre pavimento y sobre las paredes se empleó el Wassing Sestée. Este instrumento se emplea en el procedimiento de homologación de pistas de tenis por la Federación Internacional de Tenis (ITF). El aparato consta de 4 barreras de fotocélulas y mide la velocidad y el ángulo de entrada y de salida de la pelota tras un bote. Para lanzar las pelotas se utilizó un cañón neumático que lanzaba las pelotas a 70 km/h. Para controlar y registrar la velocidad de lanzamiento se utilizó un radar (figura 9). Aquellos lanzamientos cuyo registro de la velocidad de salida no excedieron el 5% de 70 km/h fueron considerados como válidos (± 4 km/h) (figura 10).



Figura 9. Radar.



Figura 10. Cañón neumático.

Tanto para el ensayo de bote angulado en pavimento como para el bote angulado en pared, se siguió la norma EN 13865:2006 “Determinación del comportamiento del rebote angular de la pelota-Tenis”. Para el ensayo de bote angulado en el pavimento de juego se utilizó la muestra de 6 pelotas nuevas descrita anteriormente. El orden de utilización de las pelotas en cada ensayo y en cada trinquete fue aleatorio. El ensayo se realizó con 3 pelotas de la muestra, en 3 puntos de la superficie de juego (puntos 2, 3 y 4 de la figura 12). En cada punto se

efectuaron 3 lanzamientos con cada una de las 3 pelotas. En la figura 11 se muestra un croquis explicativo del ensayo realizado con el cañón neumático y el Wassing Sestée.

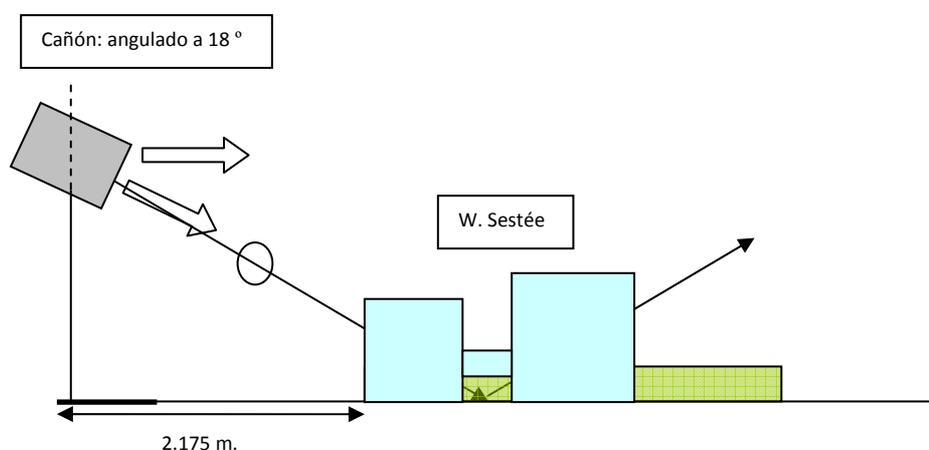


Figura 11. Colocación del cañón y del Wassing Sestée.

El procedimiento de ensayo fue el siguiente:

1. Alineación del cañón con el Wassing Sestée.
2. Colocación del Wassing Sestée a una distancia de 2,175 m (distancia que permite que la pelota bote en medio de las dos cajas).
3. Inclinación del tubo de lanzamiento del cañón aproximadamente 18° (utilizando el inclinómetro).
4. Se retira el Wassing Sestée y se fija un papel en la zona que ocupaba la ventana de medida del Wassing Sestée. Realización de un primer lanzamiento sobre el papel para asegurarse que el equipo está bien posicionado, si no es así, se corrige la posición y se comprueba de nuevo.
5. Lanzamiento de la pelota a 1,2 bares de presión (70 ± 4 km/h).

Al igual que en el ensayo de bote angulado en pavimento, para el ensayo en la pared se emplearon 6 pelotas de vaqueta nuevas y su utilización fue aleatoria en cada ensayo y en cada trinquete. Se realizaron 3 repeticiones con 3 de las 6 pelotas seleccionadas en cada uno de los 4 puntos de ensayo indicados en la figura 12.

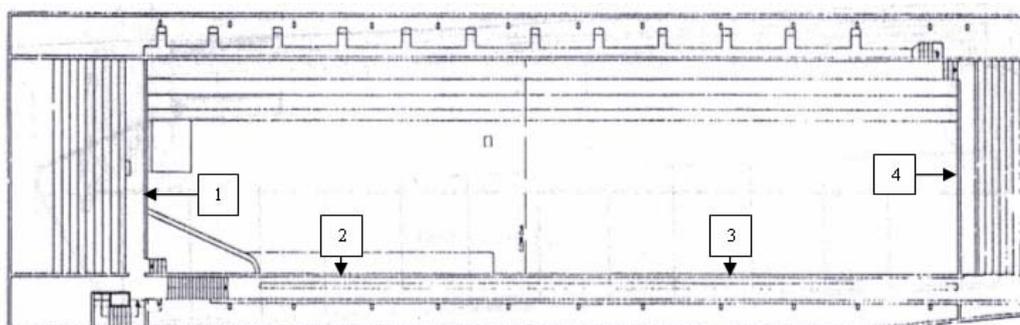


Figura 12. Localización de los puntos de ensayo en el ensayo de bote angulado en pared.

El procedimiento de ensayo fue el que se indica a continuación:

1. Se coloca el Wassing Sestée en el pavimento pegado a la pared y se mide 2,25 m (distancia que permite que la pelota bote en medio de las dos cajas de sensores) desde la primera caja hasta la plantilla de cartón.
2. A continuación se coloca la plantilla en el pavimento y se pone la caja del cañón tal y como se indica en la figura 13.
3. Se pone el Wassing Sestée sobre la estructura, se retira y se fija un papel en la zona que ocupaba la ventana de medida del Wassing Sestée. A continuación, se realiza un primer lanzamiento sobre el papel para asegurarnos que el equipo está bien posicionado, si no es así, se corrige la posición y se comprueba de nuevo.
4. Lanzamiento de la pelota a 1,2 bares de presión (70 ± 4 km/h).

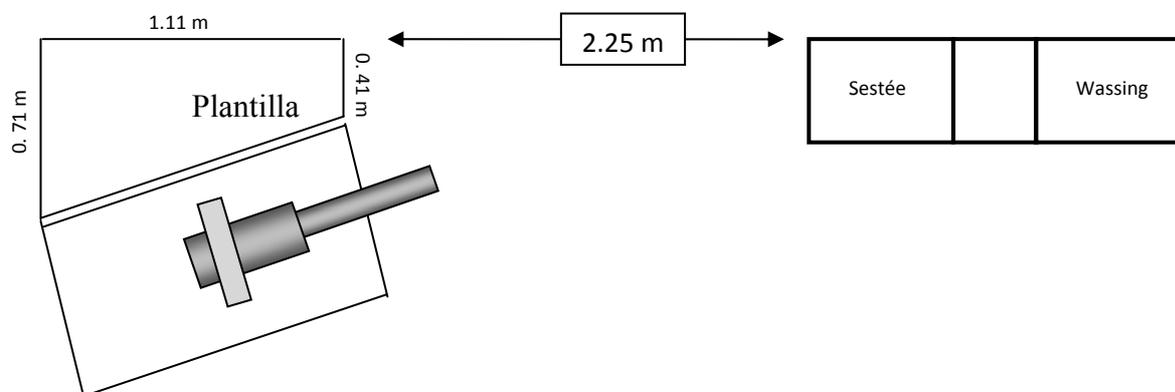


Figura 13. Posición del cañón y del Wassing Sestée en el ensayo de bote angulado en pared.

Análisis estadístico

Una vez recogida toda la información de los ensayos, se codificaron las variables en el programa ACCESS XP y para su posterior análisis estadístico se utilizó el programa SPSS 14.0. Los pasos seguidos en el estudio se muestran a continuación.

En primer lugar, la distribución normal de los datos se contrastó mediante el test de Kolmogorov-Smirnov y la homocedasticidad mediante la prueba de Levene. Una vez confirmados estos dos supuestos, el análisis estadístico consistió en la realización de un análisis descriptivo de cada una de las variables de estudio utilizando estadísticos descriptivos: medias, desviación típica y coeficiente de variación (desviación típica / media *100), dato que resulta indicativo de la homogeneidad del conjunto de mediciones.

A continuación, se realizó con cada variable un análisis de la varianza (ANOVA) estableciendo el índice de significación en $p < 0,05$ y como factor fijo la calidad de los trinquetes. De este modo, se pretende comprobar si existen diferencias entre los trinquetes considerados en “buen estado” y entre los considerados en “mal estado” a nivel de las variables mecánicas.

Por último, con la intención de definir los parámetros de referencia que distinguen si un trinquete es de buena calidad, se establecieron rangos numéricos en aquellas variables mecánicas en las que existían diferencias significativas en función de la calidad del trinquete. Los rangos se establecieron a partir de los percentiles 25 y 75 del grupo de trinquetes de buena calidad.

Resultados

A continuación en la tabla 5, se muestran los resultados descriptivos de las diferentes variables mecánicas, detallando los siguientes estadísticos: media, desviación típica y coeficiente de variación. Asimismo, en la última columna se exponen los resultados obtenidos en el análisis diferencial en función de la calidad del trinquete ($p < 0,05$). También se explica la relación existente (mayor o menor) en el grupo de variables con diferencias significativas.

Tabla 5. Resultados descriptivos y diferenciales (anovas) de las variables mecánicas.

Variables de estudio		Trinquetes en "buen estado"			Trinquetes en "mal estado"			Diferencias significativas ($p < 0,05$)
		Medias	Desv. típica	Coef. Var. (%)	Medias	Desv. típica	Coef. Var. (%)	
Fricción rotacional	Coefficiente fricción pavimento	0,788	0,137	17,45	0,822	0,102	12,44	Buen estado < mal estado
	Coefficiente de variación pavimento	6,892	2,059		7,712	4,286		No diferencias
Fricción longitudinal	Coefficiente fricción pavimento	41,28	9,92	24,05	64,52	10,76	16,67	Buen estado < mal estado
	Coefficiente fricción <i>escala</i>	23,25	15,51	66,70	55,46	16,35	29,48	Buen estado < mal estado
	Coefficiente fricción loseta	18,40	6,83	37,13	46,06	16,97	36,84	Buen estado < mal estado
	Coefficiente fricción dau	27,93	6,99	25,03	42,20	8,22	19,5	Buen estado < mal estado
	Coefficiente de variación pavimento	17,17	5,442		6,750	1,372		No diferencias
Bote vertical	Altura primer bote (m).	0,943	0,053	57,67	0,939	0,064	6,82	Buen estado > mal estado $p = 0.06$
	Altura segundo bote (m).	0,389	0,044	11,35	0,385	0,037	9,67	Buen estado > mal estado
	Variación primer-segundo bote	4,265	1,531	35,89	4,022	1,710	42,51	Buen estado > mal estado
	Coefficiente de restitución	61,406	1,756	2,86	61,255	2,113	3,44	No diferencias
Bote angulado en el pavimento	f	0,174	0,043	24,81	0,210	0,061	29,30	Buen estado < mal estado
	e	0,614	0,032	5,21	0,636	0,032	5,07	Buen estado < mal estado
	Vel. de salida (m/s)	15,042	0,796	5,29	14,377	0,971	6,75	Buen estado > mal estado
	Pace	82,588	4,320	5,23	78,980	6,166	7,80	Buen estado > mal estado
	Slidinglength (mm)	21,309	8,409	39,46	20,096	6,299	31,34	No diferencias
Bote angulado pared	f	0,171	0,048	28,10	0,190	0,022	12,02	Buen estado < mal estado
	e	0,653	0,084	12,99	0,693	0,108	15,69	No diferencias
	Vel. de salida (m/s)	15,810	0,796	5,03	15,632	0,568	3,63	Buen estado > mal estado
	Pace	82,852	4,808	5,80	80,916	2,281	2,81	Buen estado > mal estado
	Slidinglength (mm)	73,269	28,026	38,25	62,523	5,340	8,54	No diferencias

Por último, se ofrecen los parámetros de referencia (rangos numéricos) que sirven para definir trinquetes de calidad. Para establecer estos rangos, se han seleccionado aquellas variables en las que existían diferencias significativas ($p < 0,05$) según la calidad del trinquete y posteriormente se han calculado los percentiles 25 y 75 de cada una de estas variables (tabla 6).

Tabla 6. Rangos numéricos de las variables mecánicas para caracterizar trinquetes de buena calidad, en función de las variables que muestran diferencias significativas.

Variables mecánicas		Trinquetes en “buen estado”
Coeficiente de fricción rotacional del pavimento		0,67 – 0,84
Coeficiente de fricción longitudinal del pavimento		31 - 52
Coeficiente de fricción longitudinal de la <i>escala</i>		14 - 27
Coeficiente de fricción longitudinal de la <i>loseta</i>		12 - 23
Coeficiente de fricción longitudinal de la línea del <i>dau</i>		25 - 32
Altura vertical del segundo bote (m)		0,36 – 0,42
Pavimento	f	0,140 – 0,202
	e	0,59 – 0,63
	Velocidad de salida (m/s)	14,5 – 15,6
	Pace	80 - 86
Paredes	f	0,130 – 0,187
	Velocidad de salida (m/s)	15,1 – 16,2
	Pace	81 - 87

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio, revelan diferencias mecánicas significativas entre los dos grupos de trinquetes (tabla 5). Esto indica, en primer lugar, que los jugadores son capaces de diferenciar los trinquetes en función de su calidad. En segundo lugar, los pavimentos de los trinquetes del grupo en “buen estado” tienen menor fricción rotacional y longitudinal. Dado que la superficie de juego está considerada como uno de los factores de riesgo de carácter extrínseco (Twizere, 2004) determinantes de la epidemiología deportiva (Andreasson y Olofsson, 1983; Cavanagh y Lafortune 1980; Denoth y Nigg, 1981; Durá y col., 2006; Kibler y Safran, 2005; McMahan y Greene, 1979; Nigg, Denoth, Kerr, Luethi, Smith y Stacoff, 1984; Nigg y col., 1987; Pasanen, Parkkari, Rossi y Kannus, 2008; Stiles y Dixon, 2006), cabe señalar que niveles excesivamente bajos de fricción pueden ocasionar caídas y desequilibrios como consecuencia de resbalones (Cham y col., 2002; Cohen y Compton, 1982; Durá, Gil, Ramiro y Vera 1996; Redfern y Bkoswick, 1997) y también afectar negativamente al rendimiento deportivo (Li y col., 2007). Igualmente, cabe recordar que elevados coeficientes de fricción están relacionados con altos índices de lesión (Ekstrand y col., 1989; Frederick y Himmelsbach, 1995; Newton, y col., 2002; Nigg, 1990; Olsen, Myklebust, Engebretsen, Holme y Bahr, 2003; Pasanen, y col., 2008; Renström, 1995; Stiles y col., 2006), de modo que hay que encontrar una solución equilibrada que permita un buen agarre del pavimento sin comprometer la salud de los deportistas. Una posible actuación para solventar esta problemática sería la investigación de nuevos pavimentos para los trinquetes.

Asimismo, al comparar los resultados mecánicos de fricción rotacional con la normativa actual sobre pavimentos deportivos (UNE 41958: 2000 IN), se constata que los valores obtenidos en los rangos numéricos para esta variable en los trinquetes del grupo en “buen estado”, estarían contemplados en las especificaciones de esta norma. De manera que se podría establecer el rango de 0,67 – 0,84 como especificación de norma en pelota valenciana para la fricción rotacional del pavimento.

Sin embargo, no ocurre lo mismo al analizar la fricción longitudinal del pavimento, pues los datos obtenidos en el estudio mecánico difieren de los señalados en la normativa UNE – EN 14904:2006 – *Superficies deportivas. Suelos multideportivos de interior. Especificación*, según la cual, el coeficiente de fricción al deslizamiento debe estar entre 80-110. Mientras que en pelota, en los trinquetes del grupo en “buen estado” se encuentra en $41,28 \pm 9,92$ (con un rango de entre 31- 52). Estos datos confirman que el pavimento de los trinquetes posee una fricción baja y debería investigarse sobre pavimentos con mayor coeficiente de fricción para garantizar una práctica más segura.

Por otro lado, al analizar el bote vertical de la pelota, se ha comprobado que la altura del segundo bote y la variación de altura entre el primero y el segundo bote, es significativamente mayor en el grupo de trinquetes en “buen estado” ($p < 0,05$), mientras que la altura del primer bote está próxima a la significación ($p = 0,06$) (ver tabla 5). Cabe significar, que en la normativa EN 12235:2004/ AC 2006 – *Determinación del comportamiento vertical de una pelota o balón*, se especifica para diferentes deportes qué altura debe alcanzar la pelota en el rebote, por ejemplo, en tenis $1,410 \text{ m} \pm 0,025$. Dado que en pelota valenciana no existen estudios previos sobre bote vertical, se podría establecer la media de la altura del primer bote de los trinquetes en “buen estado” ($0,943 \text{ m} \pm 0,053$) como requisito normativo para este deporte.

Respecto al bote angulado en el pavimento, los resultados de las diferentes variables muestran que en los trinquetes del grupo en “buen estado”, la pelota tiene menor fricción (f), menor coeficiente de restitución (e), mayor velocidad de salida (m/s) y mayor pace (ver tabla 5), debido probablemente a que tienen menos irregularidades y/o una menor presencia de contaminantes, permitiendo que salga significativamente a mayor velocidad que en los considerados en “mal estado” (tabla 5). De igual forma se han obtenido resultados análogos, a excepción del coeficiente de restitución (e), tras analizar el bote angulado de la pelota en la pared (ver tabla 5), lo que parece indicar que las paredes de los trinquetes en “buen estado” tienen menos irregularidades. En pelota valenciana no constan estudios que investiguen sobre esta variable, de modo que podrían determinarse los rangos numéricos obtenidos en este trabajo como especificaciones de norma. Así, los requisitos para pavimentos serían: $f = 0,140 - 0,202$, $e = 0,59 - 0,63$, velocidad de salida = $14,5 - 15,6$ (m/s) y pace = $80 - 86$. Y para las paredes: $f = 0,130 - 0,187$, velocidad de salida = $15,1 - 16,2$ (m/s) y pace = $81 - 87$.

Con los resultados obtenidos en este estudio mecánico de trinquetes, se ha podido establecer una serie de rangos que sirven para definir los trinquetes de buena calidad (tabla 6). Este hallazgo es uno de los más relevantes de este estudio, pues este deporte carece de una normativa propia para analizar las características de las superficies de juego (paredes y pavimento). De forma que, a partir de estos resultados, se podrían establecer los criterios para una normativa de análisis de trinquetes de pelota valenciana, que incluiría tanto la metodología de ensayo necesaria para evaluar la instalación, como los rangos que definen la calidad para cada variable de estudio.

A continuación, en la tabla 7 se ofrece a modo de resumen los requisitos mecánicos que podrían incluirse en una futura norma de trinquetes de pelota valenciana.

Tabla 7. Requisitos mecánicos para una futura norma de trinquetes de pelota valenciana.

Variables mecánicas		Requisitos mecánicos
Coeficiente de fricción rotacional del pavimento		0,67 – 0,84
Coeficiente de fricción longitudinal del pavimento		$\zeta^{?}$ *
Altura vertical del primer bote (m)		0,943 m \pm 0,053
Pavimento	f	0,140 – 0,202
	e	0,59 – 0,63
	Velocidad de salida (m/s)	14,5 – 15,6 (m/s)
	Pace	80 - 86
Paredes	f	0,130 – 0,187
	Velocidad de salida (m/s)	15,1 – 16,2 (m/s)
	Pace	81 - 87

*Los resultados no han sido concluyentes.

Conclusiones

Se ha desarrollado una metodología, un procedimiento de ensayo y la puesta a punto de diferente instrumental para analizar las características mecánicas de los trinquetes de pelota valenciana.

Asimismo, se han definido los valores mecánicos de fricción rotacional, bote vertical y bote angulado de la pelota (en el pavimento y en la pared), aspectos que influyen directamente sobre el juego, para que el pavimento de estas instalaciones pueda ser catalogado de calidad. Estos hallazgos representan un primer paso para la creación de una futura normativa de análisis de las características mecánicas de los trinquetes de pelota valenciana.

Por último, se ha observado que existe un déficit de fricción longitudinal en estas instalaciones, que aumenta el riesgo de sufrir dolencias y lesiones en los jugadores. En este sentido, un aumento de la fricción mejoraría el tiempo de ejecución técnica, y en consecuencia, el rendimiento deportivo. Por tanto, en futuras investigaciones, ésta debería ser una línea prioritaria.

Bibliografía

- Andreasson, G., & Olofsson, B. (1983). Surface and shoe deformation in sport activity and injuries. En B.M. Nigg, y B.A. Kerr. (Eds.), *Biomechanical Aspects of Sport Shoes and Playing Surfaces* (pp. 51-61). Calgary: University printing.
- Cavanagh, P.R., & LaFortune, M.A. (1980). Ground reaction forces in distance running. *Journal of Biomechanics*, (13), 397-406.
- Cham, R., & Redfern, M.S. (2002). Changes in gait when anticipating slippery floors. *Gait Posture*, 15 (2), 159-171.
- Cohen, H., & Compton, D.M. (1982). Fall accident patterns: characterization of most frequent work surface-related injuries. *Professional Safety*, (27), 16-35.
- Conca, M., y Pérez, V. (1999). Joc popular i tradicional valencià: la Pilota Valenciana. En M. Villamón (Ed.). *Formación de los maestros especialistas en E. Física*. Generalitat Valenciana (pp 187-215). Valencia: Generalitat Valenciana.
- Conca, M.; García, G.; Gimeno, T.; Llopis, F.; Naya, J., y Pérez, V. (2003). *La Pilota Valenciana, Unitat didáctica*. Valencia: Generalitat Valenciana.
- Denoth, J., & Nigg, B.M. (1981). The influence of various sport floors on the load on the lower extremities. En A. Morecki, K. Fidelus, K. Kedzior, y A. Wit (Eds.). *Biomechanics VII* (pp. 100-105). Baltimore: University Park Press.
- Durá, J.V.; Alcántara, E.; Rosa, D.; Gámez, J., & González, J.C. (2006). Biomechanical aspects of playing surfaces and shoe-surface-interaction. En *International Congress Biomedical Engineering in Exercise and Sports*.
- Durá, J.V.; Gil, S.; Ramiro, J., y Vera, P. (1996). *Los pavimentos deportivos en España. Servicio de asesoramiento y ensayo*. Madrid: Consejo Superior de Deportes.
- Ekstrand, J., & Nigg, B.M. (1989). Surface-related injuries in soccer. *Sports Medicine*, Jul; 8 (1), 56-62.
- EN 12234: 2002 – *Superficies para áreas deportivas. Determinación del comportamiento a la rodadura del balón*.
- EN 12235: 2004/ AC: 2006 – *Determinación del comportamiento vertical de una pelota o balón*.
- EN 13865: 2006 – *Determinación del comportamiento del rebote angular de la pelota. Tenis*.
- Federació de Pilota Valenciana [1986]. *El joc de pilota valenciana*.
- Federació de Pilota Valenciana. (2011). [En línea], <http://www.fedpival.es>. [Consulta: 05/05/2011].
- Federation Internationale de Football Association (FIFA). [En línea], [http://www.fifa.com/mm/document/afdeveloping/pitch&equipment/68/52/24/fqctestmethodmanual\(may2009\).pdf](http://www.fifa.com/mm/document/afdeveloping/pitch&equipment/68/52/24/fqctestmethodmanual(may2009).pdf). [Consulta: 21/01/2011].
- Frederick, E.C., & Himmelsbach, J.A. (1995). Biomechanics of courts sports. *Proceedings of the Ninth Biomechanics Seminar* (pp 1-19). Göteborg. Sweden.
- Gámez, J., y Alcántara, E. (2006). *Estudio de la Pilota Valenciana*. Valencia: Instituto de Biomecánica de Valencia.
- Gámez, J.; Rosa, D.; Alcántara, E., y Montaner, A. (2005). Puesta a punto de un procedimiento de ensayo para la caracterización de trinquetes de "Pilota Valenciana". En M.A. Nogueras (Coor.). *II Congreso de Gestión del Deporte*. Valencia: GEP-ACV.

- Gutiérrez, M. (1999). *Biomecánica deportiva*. Madrid: Síntesis.
- Kibler, W.B., & Safran, M. (2005). Tennis injuries. *Medicine and Sport Science*, (48), 120-137.
- Kim, I.J., & Nagata, H. (2008). Research on slip resistance measurements a new challenge. *Industrial Health*, Jan; 46 (1), 66-76.
- Li, K.W.; Yu, R.F., & Han, X.L. (2007). Physiological and psychophysical responses in handling maximum acceptable weights under different footwear-floor friction conditions. *Applied Ergonomics*, May; 38 (3), 259-265.
- Llopis, F. (1999). *El joc de Pilota Valenciana*. Valencia: Carena.
- Luttgens, K., & Wells, K.F. (1982). *Kinesiología. Bases científicas del movimiento humano*. Madrid: Saunders College Publishing.
- McMahon, T.A., & Greene, P.R. (1979). The influence of track compliance on running. *Journal of Biomechanics* 12 (12), 893-904.
- Millo, Ll. (1976). *El trinquet*. Valencia: Prometeo.
- Montaner, A. (2010). *Estudio de los trinquetes de pilota valenciana, según criterios epidemiológicos, de opinión y biomecánicos*. Tesis Doctoral. Valencia: Universitat de València.
- Moreno, C. (1992). *Juegos y deportes tradicionales en España*. Madrid: Alianza y CSD.
- Newton, R.; Doan, B.; Meese, M.; Conroy, B.; Black, K.; Sebastianelli, W., & Kramer W. (2002). Interaction of wrestling shoe and competition surface: effects on coefficient of friction with implications for injury. *Sports Biomechanics*, July 1 (2), 157-166.
- Nigg, B.M. (1990). The validity and relevance of tests used for the assessment of sports surfaces. *Medicine and Science in Sports Exercise*, Feb; 22 (1), 131-139.
- Nigg, B.M., & Yeadon, M.R. (1987). Biomechanical aspects of playing surfaces. *Journal Sports Science*, 5 (2): 117-145.
- Nigg, B.M.; Denoth, J.; Kerr, B.; Luethi, S.; Smith, D. & Stacoff, A. (1984). Load sport shoes and playing surface. Sport Shoes and Playing Surfaces. En E.C. Frederick (Ed.). *Human Kinetics Publishers* (pp. 1-23), Champaign.
- Olaso, S. (1994). *El joc de la pilota en la Comunitat Valenciana*. Tesis doctoral. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Olsen, O.E.; Myklebust, G.; Engebretsen, L.; Holme, I. & Bahr, R. (2003). Relationship between floor type and risk of ACL injury in team handball. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 13 (5), 299-304.
- 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 Sports Medicine*, 42 (3), 194-7.
- Pérez, P. (2001). Revisión de césped artificial. Manuscrito no publicado.
- Pérez, P.; Llana, S.; Morey, G.; Pérez, J.A.; Cortell, J.M. & Van den Tillaar, R. (2010). Effects of mat characteristics on plantar pressure patterns and perceived mat properties during landing in gymnastics. *Sports Biomechanics* 9 (5), 245-57.
- Redfern, M.S. & Bkoswick, D. (1997). Slips, trips and falls. En M. Nordin, G. Andersson y M. Pope (Eds.), *Muskuloskeletal Disorders in the Workplace* (pp. 152-166) St. Louis: Moseby-Year Book.
- Renström, A.F. (1995). Knee pain in tennis players. *Clinics in Sports Medicine*, Jan; 14 (1), 163-75.

- Soldado, A. (1999). *Joc de pilota. Historia de un deporte valenciano*. Valencia: Diputació de València.
- 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*, Feb; 22 (1), 14-24.
- Twizere (2004). *Epidemiology of soccer injuries in Rwanda*. Tesis no publicada.
- UNE 41958: 2000 IN – *Pavimentos deportivos*.
- UNE-EN 13036-4: 2004 – *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*.
- UNE-EN 14808: 2006 – *Determinación de absorción de impacto*.
- UNE-EN 14904: 2006 – *Superficies deportivas. Suelos multideportivos de interior. Especificación*.
- Vilalta, S. (1986). *Estudi tipològic i catàleg dels trinquets*. Valencia: Conselleria de Cultura, Educació i Ciència.