



UNIVERSIDAD DE JAÉN

**FACULTAD DE HUMANIDADES Y CIENCIAS DE
LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LA
EXPRESIÓN MUSICAL, PLÁSTICA Y
CORPORAL**

TESIS DOCTORAL

**EFFECTO DE LA OPOSICIÓN SOBRE LOS
FACTORES BIOMECÁNICOS DEL
LANZAMIENTO EN SALTO EN BALONMANO**

**PRESENTADA POR:
PABLO LÓPEZ GARCÍA**

**DIRIGIDA POR:
DR. D. MARCOS GUTIÉRREZ DÁVILA
DR. D. JUAN A. PÁRRAGA MONTILLA**

JAÉN, 3 DE JUNIO DE 2005

ISBN 84-8439-286-4

Nombre y apellidos de la autora

PABLO LÓPEZ GARCÍA

Título de la Tesis Doctoral

EFFECTO DE LA OPOSICIÓN SOBRE LOS FACTORES BIOMECÁNICOS
DEL LANZAMIENTO EN SALTO EN BALONMANO

I.S.B.N.

84-8439-286-4

Fecha de Lectura

3 DE JUNIO DE 2005

Centro y Departamento en que fue realizada la lectura

FACULTAD DE HUMANIDADES Y CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
Departamento de Didáctica de la Expresión Musical, Plástica y Corporal

Composición del Tribunal/Dirección de la Tesis

Dirección de la Tesis Dr. D. Marcos Gutiérrez Dávila
 Dr. D. Juan A. Párraga Montilla

Presidente del Tribunal Dr. D. Fernando Vizcaíno Noval

Vocales Dr. D. Enrique Navarro Cabello

 Dr. D. Luis Javier Chiroso Ríos

 Dr. D. José Francisco Campos Granell

Secretaria Dr. D. José Alfonso Morcillo Losa

Calificación Obtenida

SOBRESALIENTE CUM LAUDE



UNIVERSIDAD DE JAÉN

tesis doctoral



Abstract

This Doctoral Thesis encompasses the field of sport yield performance, as it consists of the analysis of motor actions in a sport such as handball. It deals with broadening the knowledge of the factors that condition the performance in this sport, centering the study on the determination and analysis of biomechanic parameters related to the launching of remote jumping in handball, from an experimental design.

This work has been framed in a line of investigation, initiated more than 20 years ago in the laboratory of Sport Biomechanics of the University of Granada, centered on the biomechanic analysis of different sport gestures, as much as in individual sports as in collective groups.

The present doctoral thesis examines known movements such as the launching in remote jumping in handball, from the perspective of Sport Biomechanics and from the Methodology of Observation. To this end, two techniques of analysis have been used, on the one hand, the techniques of Systematic Observation to value the displacements and previous actions, and on the other hand, the three-dimensional fotogrametric techniques based on the videoing of the sport movement, as processed with a software that follows the guidelines of the biomechanic analysis (digitalization, temporary interpolation, temporary synchronization, three-dimensional reconstruction and obtaining of results).

Resumen

Esta Tesis Doctoral se encuadra dentro del campo del rendimiento deportivo, ya que consiste en el análisis de acciones motrices en un deporte como es el Balonmano, se trata de profundizar en el conocimiento de los factores que condicionan el rendimiento en este deporte, centrandolo en la determinación y análisis de parámetros biomecánicos relacionados con el lanzamiento en salto a distancia en balonmano, a partir de un diseño experimental. Este trabajo se enmarca en una línea de investigación, iniciada hace más de 20 años en el laboratorio de Biomecánica Deportiva de la Universidad de Granada, centrada en el análisis biomecánico de diferentes gestos deportivos, tanto en deportes individuales y de adversario como colectivos. La presente tesis doctoral profundiza en un gesto conocido como es el lanzamiento en salto a distancia en balonmano, desde la perspectiva de la Biomecánica Deportiva y desde la Metodología de Observación. Para ello se han utilizado dos técnicas de análisis, por un lado, las técnicas de Observación Sistemática para valorar los desplazamientos y acciones previas, y por otro, las técnicas fotogramétricas tridimensionales basadas en la filmación del gesto deportivo con vídeo, siendo procesado el gesto con un soporte lógico que sigue las pautas habituales en el análisis biomecánico (digitalización, interpolación temporal, sincronización temporal, reconstrucción tridimensional y obtención de resultados). El gesto analizado ha sido ejecutado simulando la situación real, mediante un protocolo decidido en un estudio piloto previo, con el factor añadido de la oposición del adversario de campo, obteniéndose diversos parámetros cinemáticos y dinámicos que han permitido estudiar de forma precisa los parámetros de eficacia implícitos en la ejecución del gesto, así como la incidencia de la variable oposición.



UNIVERSIDAD DE JAÉN

EFECTO DE LA OPOSICIÓN
SOBRE LOS FACTORES
BIOMECÁNICOS DEL LANZAMIENTO
EN SALTO EN BALONMANO

PABLO LÓPEZ GARCÍA

tesis doctoral

RESUMEN

Esta Tesis Doctoral se encuadra dentro del campo del rendimiento deportivo, ya que consiste en el análisis de acciones motrices en un deporte como es el Balonmano, se trata de profundizar en el conocimiento de los factores que condicionan el rendimiento en este deporte, centrando el estudio en la determinación y análisis de parámetros biomecánicos relacionados con el lanzamiento en salto a distancia en balonmano, a partir de un diseño experimental. Este trabajo se enmarca en una línea de investigación, iniciada hace más de 20 años en el laboratorio de Biomecánica Deportiva de la Universidad de Granada, centrada en el análisis biomecánico de diferentes gestos deportivos, tanto en deportes individuales y de adversario como colectivos. La presente tesis doctoral profundiza en un gesto conocido como es el lanzamiento en salto a distancia en balonmano, desde la perspectiva de la Biomecánica Deportiva y desde la Metodología de Observación. Para ello se han utilizado dos técnicas de análisis, por un lado, las técnicas de Observación Sistemática para valorar los desplazamientos y acciones previas, y por otro, las técnicas fotogramétricas tridimensionales basadas en la filmación del gesto deportivo con vídeo, siendo procesado el gesto con un soporte lógico que sigue las pautas habituales en el análisis biomecánico (digitalización, interpolación temporal, sincronización temporal, reconstrucción tridimensional y obtención de resultados). El gesto analizado ha sido ejecutado simulando la situación real, mediante un protocolo decidido en un estudio piloto previo, con el factor añadido de la oposición del adversario de campo, obteniéndose diversos parámetros cinemáticos y dinámicos que han permitido estudiar de forma precisa los parámetros de eficacia implícitos en la ejecución del gesto, así como la incidencia de la variable oposición.

TRADUCCIÓN EN INGLÉS

This Doctoral Thesis encompasses the field of sport yield performance, as it consists of the analysis of motor actions in a sport such as handball. It deals with broadening the knowledge of the factors that condition the performance in this sport, centering the study on the determination and analysis of biomechanic parameters related to the launching of remote jumping in handball, from an experimental design.

This work has been framed in a line of investigation, initiated more than 20 years ago in the laboratory of Sport Biomechanics of the University of Granada, centered on the biomechanic analysis of different sport gestures, as much as in individual sports as in collective groups.

The present doctoral thesis examines known movements such as the launching in remote jumping in handball, from the perspective of Sport Biomechanics and from the Methodology of Observation. To this end, two techniques of analysis have been used, on the one hand, the techniques of Systematic Observation to value the displacements and previous actions, and on the other hand, the three-dimensional fotogrametric techniques based on the videoing of the sport movement, as processed with a software that follows the guidelines of the biomechanic analysis (digitalization, temporary interpolation, temporary synchronization, three-dimensional reconstruction and obtaining of results).

*A mi familia, por comprender mis ausencias,
todo por y para ella...*

AGRADECIMIENTOS

A mis directores de tesis, Marcos Gutiérrez y Juan A. Párraga, por su paciencia y disposición en el duro trabajo de iniciarme en el camino de la investigación. Ha sido un orgullo para mí contar con vuestra ayuda, consejo y orientación.

A la Dirección General de Innovación Educativa y Formación del Profesorado de la Consejería de Educación de la Junta de Andalucía y a la Delegación de Educación de Jaén, por facilitar la realización y finalización de este trabajo gracias a la concesión de una licencia de estudios dentro del II Plan Andaluz de Formación Permanente del Profesorado.

A todo el equipo del C.D. Universidad de Granada de balonmano, por las facilidades para la realización de las grabaciones en vídeo, y en especial, a Chupi y Luja, por su predisposición y ayuda técnica.

A la Universidad de Jaén, y en especial, al Departamento de Didáctica de la Expresión Musical, Plástica y Corporal, por haber hecho posible la culminación de este proyecto personal. Gracias también al Servicio de Deportes de la Universidad de Jaén, por la simpatía y palabras de ánimo con las que me recibían siempre.

A todos los compañeros/as y alumnado del I.E.S. Río de los Granados, por animarme y alentarme en todo momento, en especial a Nacho, Jesús, Manolo Agudo, César, Paqui, Blas, Sonia, Rafa, y Emma (¡ánimo que tú eres la próxima!).

A mis amigos/as y a todas las personas que me han ayudado de alguna u otra forma. A Javier Ocaña, por sus consejos y ánimos; a Vicki, por su inmenso optimismo y ayuda en las traducciones; a Gema (Linares) por escucharme; a Palma, por estar siempre dispuesta a resolver dudas; a Cristina, por su bondad; a Aurora, por transmitirme tesón; a Lara, por los buenos ratos de distensión compartidos; a José A., Cristóbal, José, Paco, Rafi, Rubén, Carlos, Rocío, Emi, Gema, Lorena, Pepe (y familia), etc., por vuestra amistad.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	9
1.- CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	13
1.1.- Origen del trabajo	17
1.2.- Planteamiento del problema	17
1.3.- Marco conceptual	18
1.3.1.- Aspectos generales del lanzamiento en balonmano	22
1.3.2.- Estudio de los lanzamientos en salto en balonmano	35
1.4.- Consideraciones reglamentarias	44
1.5.- La Biomecánica como perspectiva científica en el estudio de las técnicas deportivas	48
1.6.- Factores biomecánicos que determinan el lanzamiento en salto en balonmano	49
1.6.1.- La posición del balón en el instante de la pérdida de contacto ...	50
1.6.2.- Las cadenas cinéticas desarrolladas durante el lanzamiento	53
1.6.3.- El análisis temporal	60
1.7.- Objetivos	73
2.- CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	76
2.1.- Perfil de la búsqueda	77
2.2.- Bases documentales y procedimientos de recuperación de la información	78
2.3.- Ordenación y exploración de los trabajos	79
2.3.1.- Investigaciones sobre los lanzamientos de mano alta	80
2.3.1.1.- Investigaciones relacionadas con la cinemática del gesto	80

2.3.1.2.- Investigaciones relacionadas con la dinámica del gesto	86
2.3.1.3.- Exposición cronológica de las publicaciones más relevantes	88
2.3.2.- Investigaciones sobre los lanzamientos en balonmano	94
2.3.2.1.- Estudios relacionados con los lanzamientos de velocidad	95
2.3.2.2.- Estudios relacionados con el análisis temporal del lanzamiento	100
2.3.2.3.- Estudios relacionados con los lanzamientos de precisión	102
2.3.2.4.- Estudios generales sobre la técnica del lanzamiento ...	104
2.3.2.5.- Estudios dinámicos de intervención muscular y producción de fuerza	107
2.3.2.6.- Estudios sobre modelado y simulación del movimiento	111
2.3.2.7.- Exposición cronológica de las investigaciones más relevantes	112
2.4.- Planteamiento de la hipótesis	132
3.- CAPÍTULO III: MÉTODO	134
3.1.- Estudio piloto para la elección de la situación experimental	135
3.1.1.- Introducción	136
3.1.2.- Método	137
3.1.3.- Resultados	147
3.1.4.- Propuesta de la situación experimental	149
3.2.- Características generales del método en la investigación principal	152
3.2.1.- Sujetos de estudio	153
3.2.2.- Diseño	154
3.2.3.- Técnicas de registro	156
3.2.3.1.- Técnicas de observación sistemática	158
3.2.3.2.- Técnicas fotogramétricas tridimensionales	162
3.2.4.- Procedimiento	178
3.2.5.- Variables biomecánicas	180
3.2.5.1.- Variables de producto	181
3.2.5.2.- Variables de proceso	186
4.- CAPÍTULO IV: RESULTADOS	194
4.1.- Resultados obtenidos mediante las técnicas de observación sistemática	196

4.2.- Resultados obtenidos mediante las técnicas fotogramétricas tridimensionales	205
4.2.1.- Resultados de los factores de producto	205
4.2.2.- Resultados de los factores de proceso	219
4.2.2.1.- Análisis temporal	219
4.2.2.2.- Factores relativos a las posiciones espaciales y a las velocidades	224
4.2.3.- Resultados de la evaluación de la cadena cinética desarrollada	230
5.- CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	243
5.1.- Discusión de los resultados obtenidos mediante las técnicas de observación sistemática	244
5.2.- Discusión de los resultados obtenidos mediante las técnicas fotogramétricas tridimensionales	249
5.2.1.- Factores de producto	249
5.2.2.- Factores de proceso	258
5.2.2.1.- Análisis Temporal	258
5.2.2.2.- Relativos a las posiciones espaciales y a las velocidades	260
5.2.3.- Evaluación de la cadena cinética del lanzamiento en salto.	264
6.- CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y PROSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN ..	267
6.1.- Conclusiones generales relativas al ámbito metodológico	268
6.2.- Conclusiones específicas relativas al lanzamiento en salto en balonmano	268
6.3.- Prospectivas de investigación y transferencia de resultados	269
7.- CAPÍTULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	271
ÍNDICE DE FIGURAS	288
ÍNDICE DE TABLAS	297
ANEXOS	303

PRESENTACIÓN

PRESENTACIÓN

El presente trabajo supone la culminación del proceso de formación en el tercer ciclo universitario. Se trata de la planificación y desarrollo de la tesis doctoral con la que finalizamos el programa de doctorado iniciado en 2001 en el Departamento de Didáctica de la Expresión Musical, Plástica y Corporal de la Universidad de Jaén.

Aunque la presente tesis constituye el final de un proceso, en tanto que nos permite acceder al grado de doctor, la debemos entender también como el inicio de una nueva etapa investigadora, donde la función orientadora y coordinadora de los directores, y nuestro gran esfuerzo personal, han dado como fruto una transformación personal y profesional importante.

Se trata de avanzar y profundizar en el conocimiento del funcionamiento del deporte y las exigencias de cuantos factores inciden en la mejora del rendimiento en competición. Por ello se ha analizado el gesto deportivo simulando la situación de competición real. Sin duda, en el futuro, y gracias a los avances tecnológicos, se orientará a la obtención de los datos directamente de las situaciones reales de competición. Sin que ello suponga un aspecto de invasión o alteración de la realidad e integridad del juego.

La presente tesis consta de siete capítulos que se han estructurado siguiendo los cánones establecidos para todo informe científico:

El primer capítulo se dedica a la introducción, que abarca el origen y planteamiento del problema, la justificación teórica del estudio y especialmente del problema científico propuesto, la perspectiva principal de análisis desde la que se parte, y el planteamiento de los objetivos o fines que se pretenden obtener con este estudio. También, en este capítulo, se establece el marco conceptual y reglamentario del deporte con el fin de significar aquellos aspectos más representativos del balonmano y del lanzamiento que afectan al estudio.

El segundo capítulo se dedica a la revisión bibliográfica y a la exposición de la hipótesis, donde además de señalar los estudios relacionados con la temática objeto de esta tesis, se señala el perfil tenido en cuenta en la búsqueda de información y las bases documentales utilizadas, una fase que nos ha permitido hacer operativo el problema planteado.

El método empleado en las diferentes fases de la investigación se explica en el capítulo tercero, detallando el diseño, las variables de estudio, la muestra, el material utilizado y el procedimiento seguido.

En el cuarto se exponen los resultados obtenidos apoyados por tablas y figuras al objeto de facilitar la interpretación de los mismos.

En el quinto capítulo, dedicado a la discusión, se comparan y contrastan los datos obtenidos con los antecedentes de investigación descritos en la introducción, y se interpretan las coincidencias o divergencias respecto a éstos.

A modo de síntesis en el capítulo sexto, se exponen las conclusiones que dan respuesta a los objetivos propuestos en esta investigación, como consecuencia de la valoración de los resultados, y se proponen, a modo de prospectivas, las tendencias de investigaciones futuras como continuación al trabajo desarrollado en esta tesis.

Por último en el capítulo séptimo, se recogen las referencias bibliográficas de los documentos citados a lo largo del trabajo siguiendo las normas de la A.P.A. (American Psychological Association, 2001).

En la figura 1.1. se expone de forma gráfica la estructura del presente trabajo.



Figura 1.1.- Exposición gráfica de la estructura del presente trabajo.

CAPÍTULO 1

Introducción

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se encuadra dentro del campo del rendimiento deportivo, ya que consiste en el análisis de acciones motrices en un deporte. Según Ruiz y Sánchez (1997), rendimiento deportivo es aquel proceso de máxima cualificación expresada en resultados objetivos de éxito en el deporte a estudiar, en una búsqueda continua de optimización del rendimiento del deportista en base al análisis de los procesos de adquisición y regulación motriz. El éxito en la competición deportiva depende, en mayor medida, del grado de perfeccionamiento de las acciones especializadas del deportista y su correspondencia con la situación competitiva. Cercel (1990) establece que, además, para alcanzar los máximos niveles de rendimiento deportivo, es necesaria la perfecta integración y sincronía de todos los factores que inciden en el juego y de los que dependen la consecución de los índices más altos de eficacia: técnicos, tácticos, psicológicos, estratégicos, biológicos, físicos y teóricos. Todos son de vital importancia para la adecuación de las respuestas motoras ajustadas a las demandas propias de cada momento de juego.

El tratamiento científico de cualquier actividad física o deportiva debe entenderse como un estudio en el que confluyen distintos campos de conocimiento. La estructura multidisciplinar del trabajo se fundamenta en la búsqueda del conocimiento de los mecanismos básicos sobre los que se asienta la motricidad humana como base y soporte de intervenciones posteriores.

El estudio del gesto deportivo, y especialmente el de aquellos donde existen reafereencias continuas en el juego, como pretende ser el caso que nos ocupa, requiere una perspectiva inter e intra multidisciplinar, que posibilite el análisis del gesto desde diferentes ópticas bajo el conocimiento básico de la motricidad.

En la figura 1.2. se presenta la estructura formal de las ciencias de la motricidad, descrita por Gutiérrez, Oña y Santamaría (1988), que consideramos vigente hoy en día.

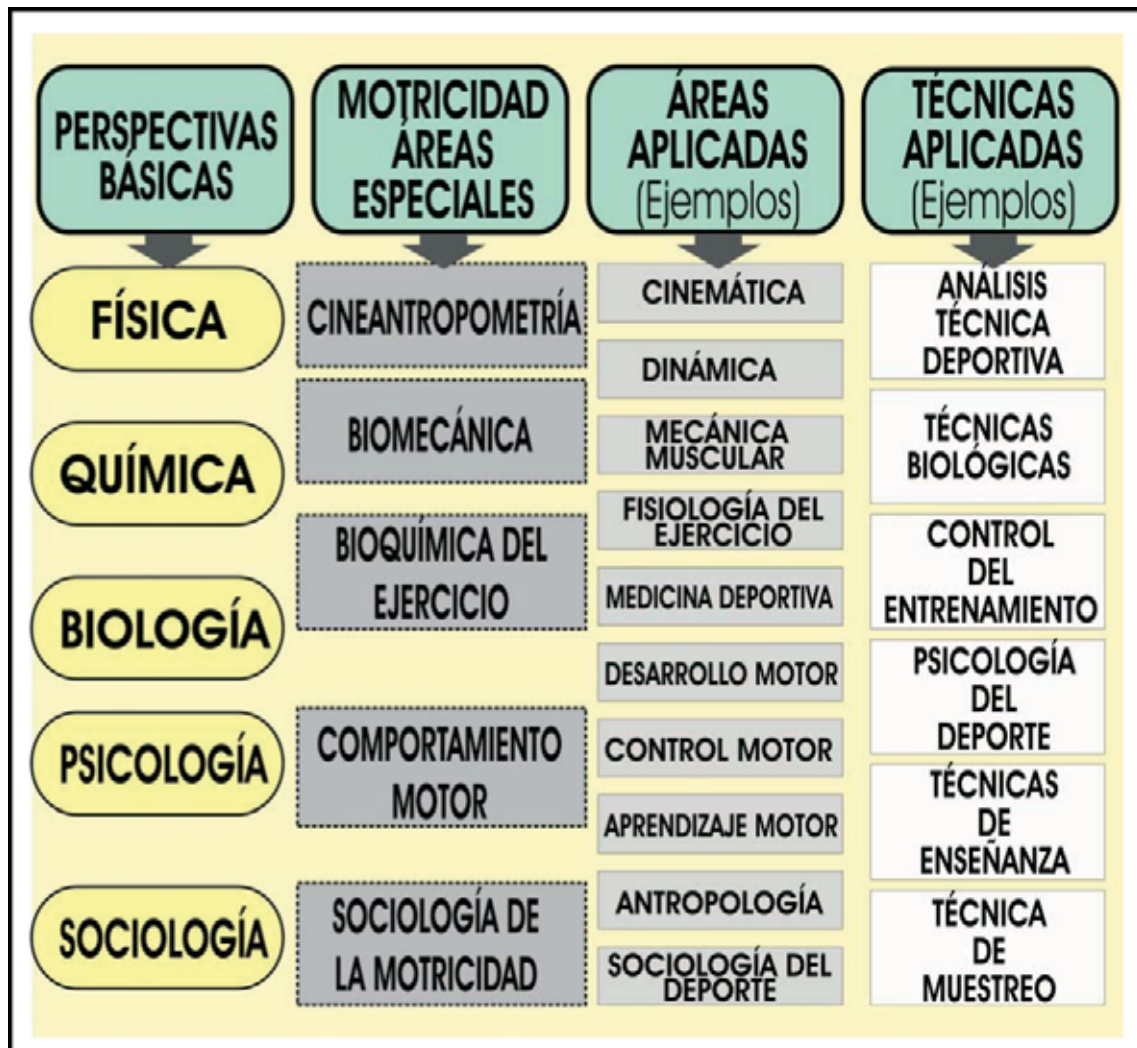


Figura 1.2.- Estructura de las Ciencias de la Motricidad (adaptado de Gutiérrez, Oña y Santamaría, 1988).

A partir de dicha estructura, Gutiérrez (1998) organiza las perspectivas científicas relacionadas con el rendimiento deportivo en cuatro grupos:

a) **Fisiología y Neurología:** Son las encargadas del análisis y optimización de los procesos energéticos, así como de los relacionados con la coordinación intrínseca del movimiento. La importancia que tiene la mejora de los procesos energéticos en la actividad física ha provocado el desarrollo de una tecnología específica en la manipulación de variables que implican una relación exclusiva.

b) **El Comportamiento Motor:** Estudia el movimiento humano desde una perspectiva psicológica. Se estudian, tanto los procesos básicos que determinan la ejecución motora, como los de modificación de conducta. Dentro del comportamiento motor existen tres áreas: el control motor, el aprendizaje motor y el desarrollo motor. El *Control Motor* estudia desde la recepción de información relevante, estímulos, hasta la programación y ejecución de la respuesta motora. El *Aprendizaje Motor* se ocupa de los procesos de adquisición y eliminación de conductas. El *Desarrollo Motor* se constituye como una rama de la Psicología Evolutiva y las ciencias que la estudian, encargándose del desarrollo biológico (Embriología, Antropometría) y centrando su objeto de estudio, tanto en los *patrones motores* como en los cambios que se producen a través del crecimiento de los sujetos (Oña, 1994).

c) **La Cineantropometría:** Es un área próxima a la cinesiología y por tanto a la biomecánica, se dedica al estudio que las relaciones antropométricas tienen sobre la eficacia del gesto. Basándose en la mecánica interna y los criterios de eficacia del movimiento humano; trata de establecer relaciones de eficacia entre los parámetros antropométricos y el gesto o gestos deportivos que se han de realizar.

d) **La Biomecánica:** Es la ciencia que estudia la aplicación de las leyes de la mecánica a las estructuras y los órganos de los seres vivos. El cuerpo humano puede entenderse como un sistema biológico sujeto a leyes físicas, y como tal debe ser tratado. Si consideramos que un gesto deportivo implica movimiento, se puede tratar utilizando las leyes de la Mecánica. Así, se puede decir que existe movimiento cuando la totalidad o alguno de los segmentos corporales ocupan una posición diferente en tiempos diferentes como consecuencia de la aplicación de unas fuerzas. Estas variables, que se derivan de la concepción mecánica del movimiento humano, han hecho que se desarrolle la Biomecánica de la Actividad física y el Deporte.

d) **La Sociología de la motricidad:** Es la ciencia que estudia las relaciones sociales dentro del campo deportivo.

1.1.- Origen del trabajo

Entre los motivos que justifican la realización de este trabajo, destacamos la motivación personal por profundizar en el conocimiento de los factores que condicionan el rendimiento en el deporte. Centrando el estudio en la determinación y análisis de parámetros biomecánicos relacionados con el lanzamiento a portería en balonmano, a partir de un diseño experimental.

Este trabajo se enmarca en una línea de investigación, iniciada hace más de 20 años en el laboratorio de Biomecánica Deportiva de la Universidad de Granada, centrada en el análisis biomecánico de diferentes gestos deportivos, tanto en deportes individuales y de adversario, como colectivos. De hecho merecen destacarse las aportaciones de las tesis de Gutiérrez (1990); Soto (1995); López (1995); Cárdenas (1995); Sánchez (1997); Gómez Píriz (2000); Gómez (2002); Ramón (2002); López Contreras (2002); Maureira (2003); Montes (2003), y especialmente, por su especial incidencia en nuestro estudio, los trabajos de Rojas (1997), referidos al baloncesto; Párraga (1999), donde el objeto de estudio se centra en el balonmano y Carazo (2004), que aplica los fundamentos biomecánicos al bádminton.

El origen del estudio surge principalmente de una de las conclusiones expuestas en los trabajos desarrollados por nuestros directores (Párraga, 1999; Párraga, Sánchez, y Oña, 2001), donde se apuntaba la necesidad de incluir, en futuros trabajos, el factor oposición en el análisis del gesto del lanzamiento en balonmano, y en las prospectivas se aludía a la necesidad de obtener datos directos en competición. En definitiva, el objeto central del presente trabajo ha sido comprobar en qué medida influye el factor oposición en la técnica y eficacia del lanzamiento en salto a distancia en balonmano.

1.2.- Planteamiento del problema

El estudio ha consistido en analizar un deporte de equipo o colectivo (Bayer, 1986; Blázquez, 1986; Hernández, 1988), como es el *balonmano*, y más concretamente uno de los elementos técnicos-tácticos individuales más importantes o claves, como es el *lanzamiento* a portería (Antón, 1998; Bárcenas y Román, 1991). Este medio técnico-táctico individual tiene una gran repercusión en el transcurso de la competición como acto de culminación del denominado ciclo de juego en ataque

(Antón, 1990), de cuya eficacia depende, en gran medida, el éxito o fracaso de las acciones que lo preceden y la posibilidad de conseguir la victoria, objetivo final del juego. Con el fin de acotar y delimitar el estudio, del amplio abanico de lanzamientos en balonmano, nos centraremos en los *lanzamientos en salto a distancia con y sin oposición defensiva*.

El análisis del gesto técnico, objeto de la presente tesis, se llevará a cabo bajo la perspectiva principal de la *Biomecánica Deportiva*, a través de la cual se valorará la evolución de los factores biomecánicos que intervienen en el lanzamiento en salto a distancia en balonmano, ante la presencia y/o ausencia de defensa, con la finalidad de conocer los parámetros de eficacia de este gesto y la existencia de variantes entre ambos casos. Al mismo tiempo se empleará la *Metodología de Observación*, con el fin de describir todas las acciones llevadas a cabo por los jugadores en el transcurso de la acción de lanzamiento, esto ayudará a complementar y corroborar los resultados que se obtengan del análisis biomecánico. De la observación, identificación y valoración de las acciones y de los factores biomecánicos del gesto, se aportarán las características que determinan la ejecución y el aprendizaje del mismo. Según lo expuesto, el problema científico que se plantea en este trabajo de investigación, establece el interés por conocer el efecto que produce la oposición defensiva, sobre las acciones previas y variables biomecánicas que determinan la eficacia en un lanzamiento en salto en balonmano.

1.3.- Marco conceptual

El balonmano es un deporte de equipo que puede ser considerado como una situación deportiva, donde los jugadores siempre van a estar en interacción, bien con los compañeros o bien con los adversarios. Se trata de una situación motriz de competición, determinada por un reglamento que conlleva un carácter lúdico y que está bajo el amparo institucional (Hernández Moreno, 1984).

Diferentes autores e investigadores en el campo de la actividad física (Blázquez y Hernández Moreno, 1984; Bouet, 1968; Durand, 1988; Farfel, 1988; Matveiev, 1985; Parlebás, 1981; Rodríguez, 1998) han establecido diversas categorías o taxonomías de los deportes. La categoría a la que pertenece el Balonmano hace referencia a los deportes sociomotrices enmarcados en espacios estandarizados, sin incertidumbre en el medio, la cual es desarrollada a partir de la forma en que se hace uso del espacio por los participantes y la intervención o participación sobre el móvil (balón). Se trata de un deporte con oponentes, donde las referencias externas son constantes, tanto de los oponentes como de los propios compañeros.

Según Knapp (1963), las tareas motrices pueden ser clasificadas como *predominantemente perceptivas o predominantemente habituales*. Dentro de las

tareas *predominantemente perceptivas* se incluiría el baloncesto, waterpolo, el rugby, el fútbol, el tenis, la esgrima, etc., y por supuesto el balonmano. En estos deportes, el individuo está mediatizado en su ejecución motriz por los cambios que se produzcan en el entorno, los cuales son circunstanciales a la naturaleza de este tipo de deportes. Por el contrario, las tareas denominadas como *predominantemente habituales*, tales como el salto de altura, el lanzamiento de peso o una carrera en natación, son aquellas en las que las condiciones del entorno son supuestamente estables y pueden ser evaluadas con detenimiento por el individuo antes de tomar una decisión sobre ejecución.

Según Poulton (1957) y Sánchez Bañuelos (1992), desde el punto de vista de los mecanismos de control del movimiento en relación con el aspecto perceptivo, las tareas motrices se dividen en dos tipos: *abiertas* y *cerradas*. Las de carácter *abierto* precisan para su realización un circuito de *feedback externo o periférico* (Oña, 1994), en el cual la información visual juega un papel primordial, por ejemplo en balonmano.

Según Oña (1994) la conducta motora humana puede ser explicada con el modelo de servosistema (figura 1.3.), colocándose en el mecanismo de referencia, a través de la información previa (feedforward), los objetivos para la ejecución correcta del movimiento. El nivel ejecutivo lo compondrían los niveles de procesamiento de la información (identificación del estímulo, selección de respuesta y programación de respuesta). El nivel efector lo conformaría la estructura físico-biológica del organismo que producen el movimiento (sistema nervioso, músculos y articulaciones). La retroalimentación (feedback) puede venir, tanto de la información propioceptiva (interna) del funcionamiento de esos componentes, como de la información de los resultados de la acción en el ambiente (externa). Este sistema de control del movimiento humano o también llamado de bucle cerrado, es aplicable sobre todo a movimientos largos, continuos y abiertos; como los que ocurren, por ejemplo, en un partido de balonmano, donde el sujeto ha de adaptarse a los cambios imprevisibles del juego.

Las tareas motrices de carácter cerrado se distinguen, sin embargo, por el control de la ejecución del movimiento a través de los circuitos de feedback de carácter interno. Por ejemplo, es el caso de la técnica de arrancada en halterofilia ante el levantamiento de un peso. Las necesidades de ejecución son mucho más previsibles en el caso de las tareas *cerradas* que en el caso de las tareas *abiertas*. En balonmano, debido a la interacción con compañeros y oponentes, no se producen situaciones cerradas o si se producen es de forma muy excepcional. Por ello, el análisis del juego debe plantearse respetando la realidad contextual del mismo.

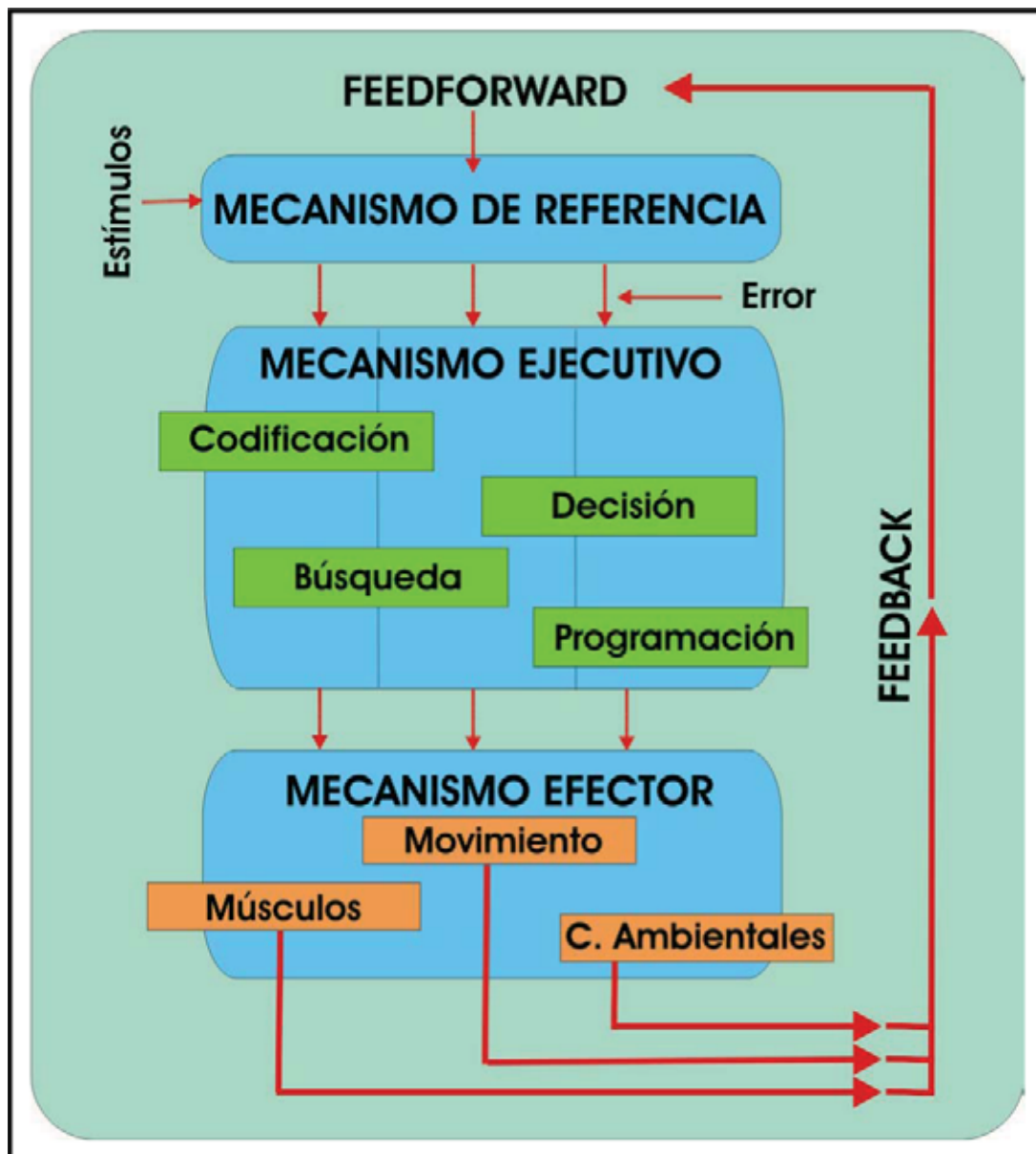


Figura 1.3.- Modelo de servosistema en el movimiento humano (adaptado de Oña, 1994).

Por lo tanto, en deportes de carácter abierto es importante la automatización del movimiento en situaciones de variabilidad contextual, que permita al sujeto desarrollar una satisfactoria capacidad de adaptación. Los jugadores de balonmano, en su acción de lanzar a portería, deben poseer patrones motores automatizados, aunque con una alta capacidad de adaptación a diferentes estímulos o contingencias (posición y antropometría del portero, número y características de oponentes, lejanía a portería, espacios libres, tipo e instante de lanzamiento, etc.), que ajusten los distintos tiempos que afectan a la opción correcta y se ajusten a las necesidades que demanda el juego (Párraga, 1999).

Podríamos definir la automatización como el grado de adquisición o grado de consistencia temporal de una habilidad entre ensayos repetitivos. La automatización es determinante en la fase de programación de la respuesta motora. El sujeto, una vez recibida, identificada y almacenada la información, ha de elaborarla para programar la respuesta motora que deberá ejecutarse por el nivel efector (output). La programación de la respuesta, consiste en un conjunto integrado de órdenes que se enviarán al sistema efector para que las unidades neuromusculares actúen en un juego sincrónico tensión-relajación, a lo largo de un patrón temporal (patrón neuromuscular). A este conjunto integrado de órdenes se le denomina *programa motor* (Oña, 1994).

Podemos hablar de dos tipos de programa motor: el *programa motor restringido* (Henry y Rogers, 1960) y el *programa motor generalizado* o *esquema motor* (Schmidt, 1975). El *programa motor restringido* considera que el aprendizaje de habilidades motoras concretas establece en la memoria neuromotora una serie de comandos o sentencias neuromusculares organizadas, y que éstas permanecen inmutables para su uso futuro. Así, explicaba Henry y Rogers la existencia de los gestos automatizados. Este tipo de programa motor se sometió a crítica, de ahí el nombre de restringido, pues, se apoyó en los modelos de procesamiento serial de la información, en los cuales, desde la llegada del estímulo hasta la producción de la respuesta, ocurre serial y automáticamente a través de estadios diferentes e independientes entre sí. Este modelo de programa motor presenta dos problemas: a) el primero hace referencia a la capacidad de almacenamiento en la memoria del sujeto, considerando que si cada gesto genera un programa motor sería enorme la memoria necesaria y b) relacionado con la novedad en la respuesta motora. Este modelo no la permite, pues una vez almacenado cada programa motor es independiente y se repite siempre de la misma forma, de manera que cualquier variación constituiría un nuevo programa.

Todo esto ha provocado que enuncien otros modelos explicativos más flexibles, como es el *programa motor generalizado* o *esquema motor* (Schmidt, 1988) y el *control multiniveles* (Greene, 1972). Según estos modelos, el esquema motor no es una copia mental del gesto físico que permanece fija durante todo el procesamiento, sino que debe definirse cada vez según las condiciones ambientales,

entre las que la información dada, instrucciones previas (feedforward) e información de resultados (feedback), cumplen un papel importante.

En el control multiniveles, los niveles más altos de procesamiento representan aspectos globales o invariantes del programa motor. Los invariantes más conocidos son: a) el orden de las acciones, b) la estructura temporal de las contracciones, y c) la fuerza relativa. Si existen variaciones ambientales pequeñas, el programa motor generalizado se ajusta o adapta a los nuevos parámetros. Por tanto, según los planteamientos del programa motor generalizado, existe un patrón neuromuscular base en los niveles superiores y patrones neuromusculares derivados que representan casos concretados en niveles inferiores.

La forma en que se almacena un esquema será más o menos abierta en función de la variabilidad de la práctica durante su aprendizaje (Shea y Morgan, 1979), una práctica variada formará esquemas más abiertos, necesarios, por ejemplo, para las tareas abiertas de deportes de balón (balonmano).

El lanzamiento a portería en salto, en el contexto del balonmano, se encontraría como un elemento global y organizado en el nivel superior del control multiniveles (figura 1.4.), desde donde pasan progresivamente a niveles inferiores, controlados por factores periféricos, denominados *efecto contexto* (Shea y Morgan, 1979), para concretarse en las ordenes dadas a unidades musculares, por ejemplo las modificaciones provocadas en la respuesta motora como consecuencia de las acciones del oponente u oponentes.

Keler y Tishler (1984) afirman que la actividad del jugador en la competición se desarrolla en un ambiente de contacto permanentemente conflictivo con el adversario, además de alguna dependencia con relación a las acciones del mismo. Ello obliga a la respuesta motora a encontrarse en un proceso de ajuste continuo, condicionándose las acciones técnicas (biomecánicas) y dotándoselas de un alto componente táctico (control motor), siendo estos dos conceptos indisociables en su aplicación real al juego y manifestándose así en todas las acciones. Antón (1990 y 1992) la define como *modos de aplicación técnica*, siendo el objetivo el aumento de la disponibilidad de un número de respuestas elevado, provocados por la adecuación y ajuste de un modelo a cada situación de juego. Gutiérrez, Soto y Santos (1992) los definen como *recursos de la técnica básica*, al referirse a las modificaciones que se producen en la técnica básica del movimiento como consecuencia de las reafirmaciones externas o la influencia de parámetros tácticos.

1.3.1.- Aspectos generales del lanzamiento en balonmano

El lanzamiento a portería representa la acción más decisiva del juego y constituye la culminación del ataque. Sánchez (1991), lo define como la acción de impulsar el

balón hacia la portería con el lógico objetivo de superar al portero y conseguir gol. Sin duda, es el gesto técnico que más trascendencia tiene en el juego y su dominio se hace imprescindible para cualquier jugador. Según Sánchez, debe reunir las siguientes características: a) preciso, b) sorpresivo, c) potente, d) oportuno (en el momento adecuado) y e) variado (forma, dirección, altura). En los casos en los que el jugador sólo tenga que superar al portero, es posible, que la mejor opción sea un lanzamiento (de habilidad) con poca potencia, y en vez de hacerlo rápido sea más conveniente una ejecución retardada en función de la observación de la actuación del portero, en definitiva, todo dependerá del tipo de referencias que reciba el sujeto lanzador.

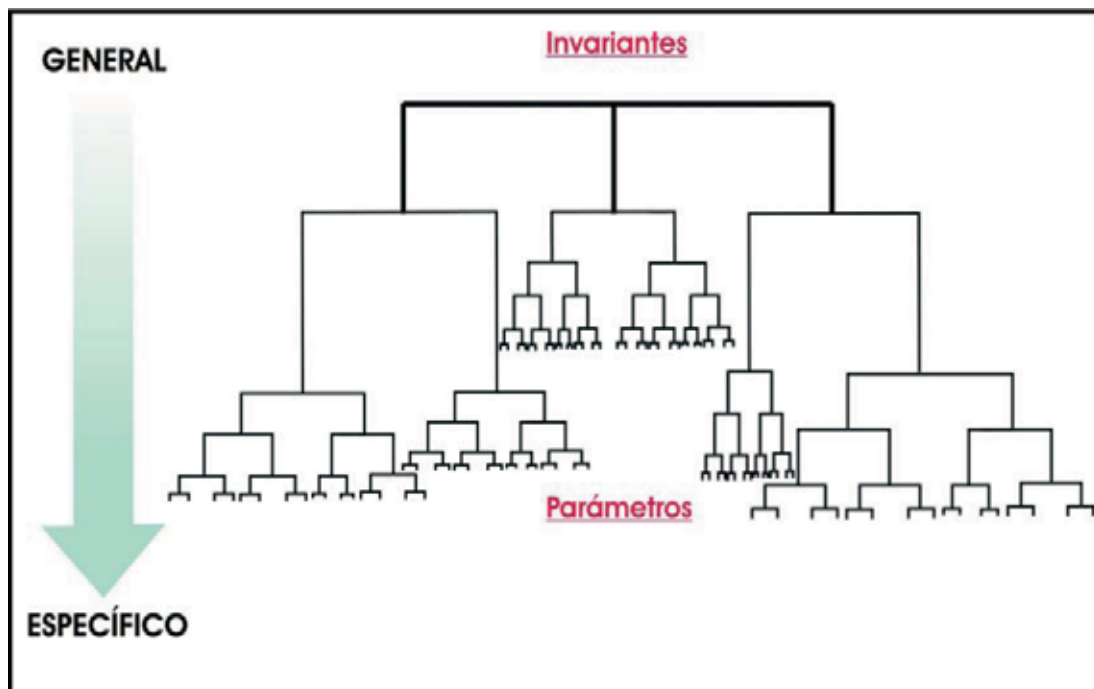


Figura 1.4.- Representación del modelo de control multiniveles (adaptado de Schmidt, 1988).

El lanzamiento en salto a distancia en balonmano debe ser considerado como un conjunto de destrezas o habilidades. Las *destrezas motoras* son unidades en las que se agrupan los diferentes movimientos realizados durante la actividad física y el deporte, las cuales se agrupan en *patrones de movimiento*. Los patrones de movimiento agrupan destrezas con movimientos segmentarios similares. El conocimiento existente permite justificar la existencia de un patrón de lanzamientos y golpes por encima del hombro y de un patrón más general, que engloba el anterior (Kreighbaum y Barthels, 1981).

Atwater (1979) afirma que el patrón general de lanzamientos y golpes es, posiblemente, el segundo más utilizado en las destrezas motoras después de la carrera. Este patrón estaría compuesto por todas aquellas destrezas que pretenden alcanzar la máxima velocidad del extremo libre de la cadena cinética y una apropiada dirección de dicho vector de velocidad. En definitiva, son destrezas que pueden tener uno de los dos objetivos siguientes: a) Proyectar un objeto a la máxima distancia horizontal (el lanzamiento de jabalina, disco y martillo, etc.), y b) Proyectar un objeto hasta un punto determinado (precisión) con la máxima velocidad (el penalti en fútbol, el lanzamiento en balonmano, etc.).

Kreighbaum y Barthels (1981) clasifican las destrezas agrupándolas en patrones de lanzamiento y golpes (tabla 1.1). En su clasificación se observan cuatro grupos: destrezas de mano baja, laterales, de mano alta y golpes con el pie. En esta clasificación se agrupan deportes con características generales similares, que utilizan patrones de movimiento análogos y con una participación muscular parecida. En la presente tesis nos ocupamos de analizar un lanzamiento de mano alta como es el lanzamiento en salto en balonmano.

Tabla 1.1.- Clasificación de las destreza según los patrones de lanzamiento y golpes (adaptado de Kreighbaum y Barthels, 1981).

MANO BAJA	LATERALES	MANO ALTA	GOLPEO CON PIE
Bolos	Disco	Jabalina	Fútbol
Voleibol	Martillo	Béisbol	Rugby
Bádminton	Voleibol	Voleibol	
Golf	BALONMANO	Tenis	
Hockey	Béisbol	Bádminton	
BALONMANO	Tenis	Squash	
	Bádminton	Waterpolo	
	Squash	Baloncesto	
		BALONMANO	

El lanzamiento en salto a distancia se utiliza fundamentalmente en la denominada cuarta fase del juego de ataque –ataque en sistema- (Cercel, 1980) y se ejecuta, casi exclusivamente, en los puestos específicos de primera línea atacante (central, lateral izquierdo y lateral derecho), a una distancia comprendida entre los 9 y los 11m de la portería. No obstante, la evolución del juego ha deparado que cada vez se use con mayor frecuencia en situaciones de contraataque, dada la elevada capacidad de los jugadores de máximo nivel para obtener éxito en estas situaciones. En la figura 1.5. se presenta un esquema sobre las posibles posiciones de lanzamiento en cada puesto específico de primera línea atacante.

En el transcurso de los partidos, el empleo del lanzamiento en salto a distancia está condicionado por la presencia o el tipo de presencia de los oponentes, por la imposibilidad de penetrar en profundidad, por la posición del lanzador y por otras circunstancias del juego. El lanzamiento a distancia, tiene su máxima aplicación ante defensas cerradas, que utilizan poca profundidad en sus desplazamientos defensivos y que como base de su organización estratégica sitúan a los jugadores, preferentemente, en zonas de protección cercanas a la línea de área de portería. El lanzamiento en salto vertical, a diferencia de los lanzamientos en penetración o salto horizontal, busca salvar la oposición defensiva en altura y no en profundidad. Constituye un modo de obtener el ángulo de lanzamiento adecuado al superar el cuerpo y los brazos de los defensores que se encuentran situados en su línea de lanzamiento a portería.

Fleck et al. (1992) resaltan que la habilidad para marcar un gol depende, en gran parte, de la exactitud del lanzamiento (precisión) y de la velocidad del balón, afirmación que corrobora Laguna (1996) al defender la necesidad básica de dotar a los jugadores de la capacidad de lanzar a gran velocidad y de forma precisa, como potencial de partida, sin lo cual todo lo demás no tiene sentido. No sólo es importante la técnica en un jugador de balonmano, sino que también son importantes otros factores que hay que controlar y atender.

Trosse (1993) afirma que el balonmano depende más bien de la capacidad de juego de cada jugador y de la cooperación de todos los jugadores dentro de un equipo. Entiende por *capacidad de juego* (figura 1.6.), aquella actividad compleja que implica combinar una serie de capacidades psíquicas y físicas con una variabilidad de capacidades técnicas para unirlos bajo aspectos tácticos. En los deportes de equipo, la mejora en los lanzamientos va a estar determinada por la capacidad de cambiar el modo de lanzar y de la subordinación de la técnica a la táctica, en el sentido de elegir la solución más apropiada en cada propuesta de juego (Bober, 1995).

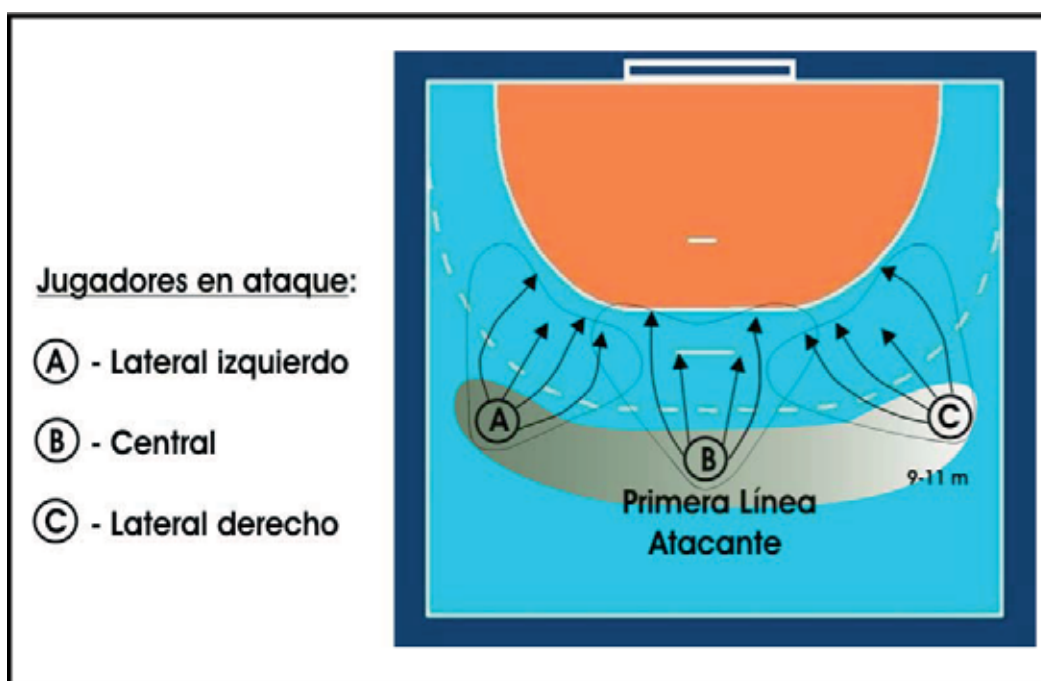


Figura 1.5.- Situaciones y puestos específicos de primera línea atacante.

Gutiérrez (1988) resalta la importancia de la técnica individual como un ajuste ideal entre el modelo y su adecuación a cada sujeto en función de sus características propias. Según Antón (1990), la determinación de un lanzamiento eficaz está provocada por la confluencia adecuada de múltiples factores, debiendo adecuarse cada gesto técnico-táctico a la demanda que se exija en cada fase del denominado *ciclo de juego*, siendo diferente la utilización del lanzamiento en salto en su aplicación en una fase de contraataque, a la que se utiliza en una fase de juego organizado en sistema, encontrándose a su vez, variables de adecuación en función de los sistemas defensivos utilizados, etc., aunque los principios generales del juego y su objetivo primordial permanecerán invariables: conseguir gol.

En la dinámica del juego, es imprescindible la formación de jugadores capaces de conseguir gol desde lugares que entrañan más dificultad, en posiciones corporales más complicadas y con mayor oposición (Laguna, 1996). No obstante para conseguirlo es necesario conocer el funcionamiento del lanzamiento, su estructura y sus posibilidades de aplicación, estableciendo estrategias de aprendizaje que aseguren un adecuado proceso de formación del jugador y que le posibiliten el desarrollo de las habilidades motoras especializadas en su más alto nivel.

Como sucede en la mayoría de los deportes, la producción bibliográfica general en balonmano es amplia, existen especialistas y entrenadores de balonmano, que en sus trabajos tratan el gesto técnico del lanzamiento.

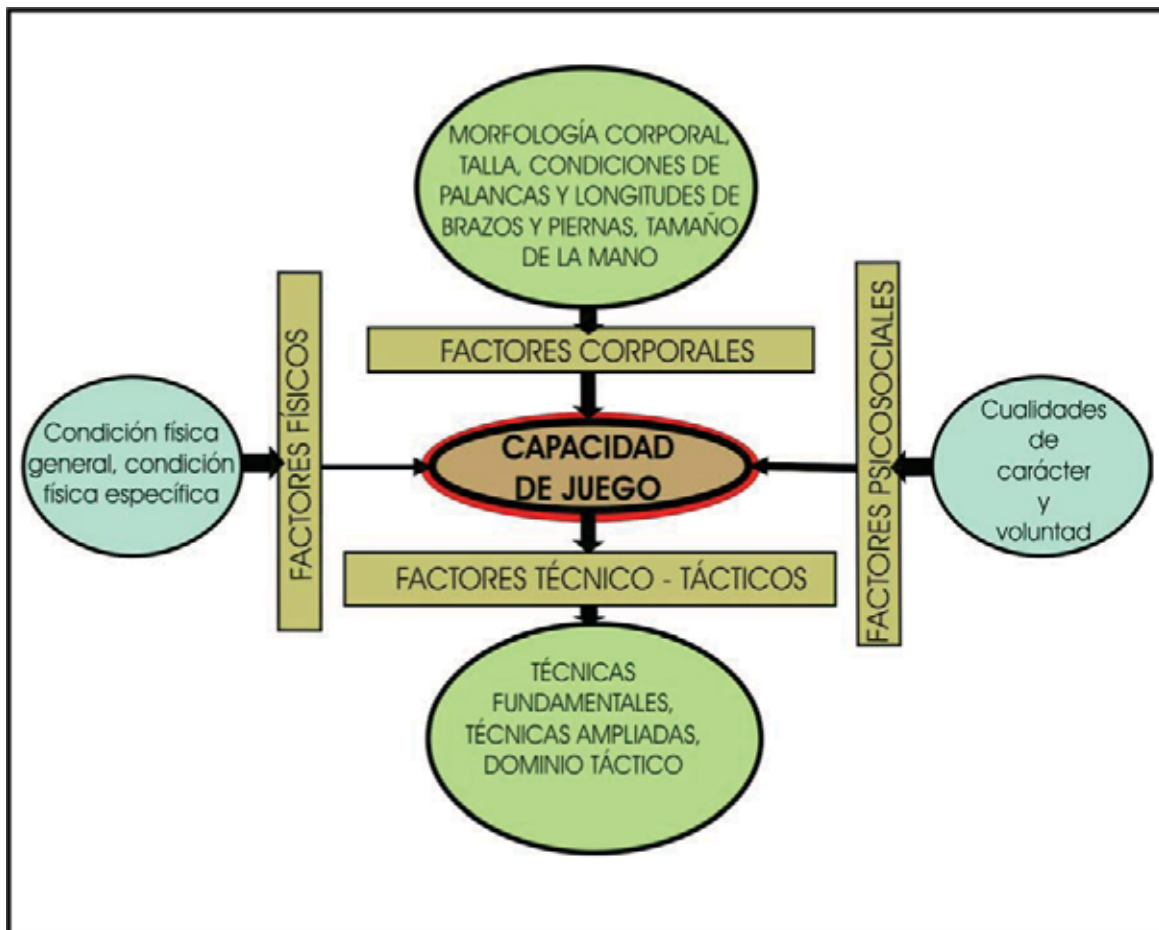


Figura 1.6.- Estructura causal de la capacidad de juego (adaptado de Trosse, 1993).

Estos trabajos deben valorarse, pero a la vez hay que ser conscientes que la mayoría de ellos no se sustentan en el método científico, careciendo de objetividad científica. Muchos de estos trabajos no son más que publicaciones meramente descriptivas de las experiencias o impresiones de sus autores, que fundamentan su importancia en la transmisión de vivencias de práctica útiles para todo entrenador.

En este contexto pseudo-científico o descriptivo, existe controversia a la hora de denominar los lanzamientos en balonmano. Hay autores que hablan de lanzamiento en suspensión (Bayer, 1987; Czerwinski, 1993; Trosse, 1993), distinguiendo dentro de éste dos formas clásicas: en suspensión saltando hacia arriba y en suspensión saltando hacia delante, otros autores (Bárcenas, 1981; Falkowski y Enríquez, 1982; Sánchez, 1991) hablan de lanzamiento en suspensión (referido a salto vertical) por un lado y de lanzamiento en salto (referido a salto hacia delante, profundidad) por otro. Aunque vemos que la forma de llamarlo no es totalmente la misma, el significado es idéntico. Desde un punto de vista biomecánico y físico es erróneo hablar de suspensión, pues, ningún sistema coordinado, como es nuestro cuerpo, es capaz, por las leyes físicas, de quedar suspendido en el aire sin acción de ninguna fuerza externa. Por tanto, podemos afirmar que el término más correcto para denominar el gesto objeto de estudio en la presente tesis, es el de lanzamiento en salto vertical a distancia.

Siguiendo este contexto pseudo-científico, relacionado con el lanzamiento en salto en balonmano, destacamos el trabajo de Czerwinski (1993), donde establece que este lanzamiento es el más popular en el juego del balonmano. Distingue dos formas clásicas: a) lanzamiento en salto más vertical (figura 1.7.), realizado principalmente por los jugadores de la primera línea atacante, más alejados de la portería del equipo adversario; y b) el lanzamiento en salto hacia delante (figura 1.8.), propio sobretodo de los jugadores de la segunda línea, más cercanos a la portería del equipo adversario, o por los jugadores de primera línea en penetración a portería. Estos dos tipos se caracterizan por la distinta altura de salida del balón, por el diferente valor de la componente horizontal del sistema jugador más balón y por la posibilidad de poder inclinar el tronco durante el vuelo.

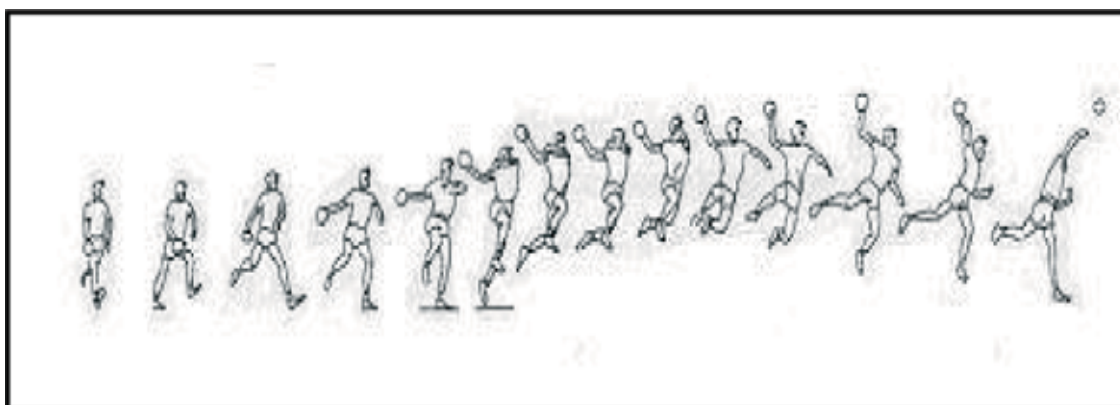


Figura 1.7.- Cinematograma del lanzamiento en salto vertical (Czerwinski, 1993).

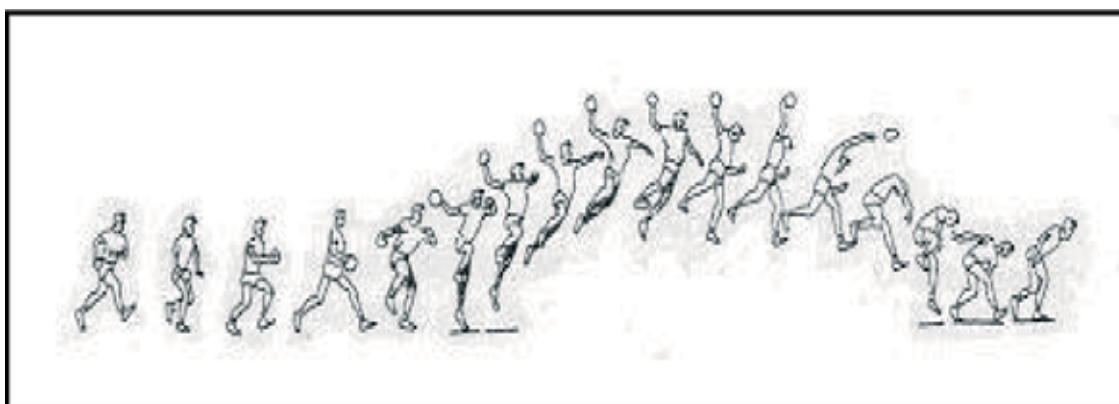


Figura 1.8.- Cinematograma del lanzamiento en salto hacia delante (Czerwinski, 1993).

En toda la bibliografía divulgativa revisada (Bárcenas, 1981; Bayer, 1987; Cercel, 1980; Czerwinski, 1993; Falkowski y Enríquez, 1982; Noteboom, 1990; Sánchez, 1991; Rivière, 1989; Trosse, 1993; entre otros), hemos destacado dos aspectos objeto de análisis. Nos referimos por un lado, a la clasificación que cada autor hace de los lanzamientos, y más concretamente de los lanzamientos en salto; y por otro, a la descripción técnica que estos autores realizan de los mismos.

Entre las clasificaciones de los lanzamientos, y más concretamente, de los lanzamientos en salto en balonmano, destacamos, a modo de ejemplo, en las figuras 1.9. y 1.10., respectivamente, la de Bárcenas (1981) y Falkowski y Enríquez (1982).

En cuanto a las descripciones técnicas del gesto de lanzamiento, existen bastantes trabajos (Bayer, 1987; Bárcenas, 1981; Bárcenas y Román, 1991; Czerwinski, 1993; Falkowski y Enríquez, 1982; Latiskevits, 1991; Sánchez, 1991; Stein y Federhoff, 1975 y Trosse, 1993), aunque destacamos como la más representativa la de Sánchez Molina (1990). Aunque, en general, se trata de análisis descriptivos, basados en la observación, puede resultar interesante tenerlas en cuenta para compararlas con otras descripciones apoyadas en perspectivas científicas como la biomecánica deportiva.

Sánchez Molina (1990) realiza un estudio analizando fotogramas de lanzamientos, en el que describe la técnica del ataque en balonmano (recepciones, pases y lanzamientos). Utiliza la observación de fotogramas para describir el gesto del lanzamiento en salto. De su trabajo destacamos que:

- a) La importancia del lanzamiento en salto se relaciona fundamentalmente con la obtención de trayectorias libres de marcaje por encima de los defensores.
- b) Coincidiendo con la batida de la pierna contraria a la del brazo ejecutor, la cual se flexiona ligeramente para obtener un mayor impulso, se eleva súbitamente el cuerpo, así como el brazo que controla el balón en trayectoria vertical hasta alcanzar la máxima extensión o mediante movimiento de circunducción.



Figura 1.9.- Tipos de lanzamientos (adaptado de Bárcenas, 1981).



Figura 1.10.- Tipos de lanzamientos (adaptado Falkowski y Enríquez, 1982).

- c) En el momento del impulso, la pierna del lado del brazo ejecutor, efectúa una pronunciada flexión con el fin de obtener más altura. El gesto global va acompañado de una rotación del tronco hacia el lado del brazo ejecutor; el brazo contrario marca la dirección del lanzamiento. El brazo ejecutor queda en rotación externa preparado para lanzar mediante un desplazamiento hacia atrás más acusado que en el caso de un pase frontal. A continuación la cara palmar de la mano se coloca de frente a la dirección del lanzamiento, proyectando seguidamente el brazo en dicha dirección previa distorsión del tronco.

En la figura 1.11., a modo de ejemplo, se expone una secuencia tipo de fotogramas del lanzamiento en salto en balonmano, a partir de la cual es posible realizar una descripción aproximada del mismo.

Uno de los aspectos más importantes y condicionantes de la técnica es el *armado del brazo* (Alonso Río, 1976 y Párraga, 1999). Esta acción supone una actuación de predisposición al lanzamiento, que posibilita al jugador la realización de acciones de pase, progresión o de lanzamiento a portería. Esta actitud predispone a distintas posibilidades de acción, que amplían la dificultad defensiva, pero además, posibilita cumplir dos objetivos importantes en el juego: a) por un lado, el de facilitar el encadenamiento de acciones posteriores de la forma más rápida posible; y b) por otro, el de asegurar la posesión del balón.

Hay dos posibilidades de armado del brazo: a) *por delante* y b) *por detrás*.

- a) En el armado *por delante*:

El balón adaptado con una o dos manos pasa desde la altura del abdomen o pecho hacia atrás mediante una flexión y rotación externa del brazo, acompañado por la consiguiente rotación de tronco. De esta manera, además de conseguir los efectos descritos por Cavagna et al. (1965) de incremento de la fuerza después de un preestiramiento del músculo, se produce el ciclo de estiramiento-acortamiento, como consecuencia del trabajo excéntrico previo al concéntrico de la musculatura del hombro. También se asegura un menor tiempo de movimiento al recorrer menor distancia el brazo ejecutor y posibilita el encadenamiento de acciones técnicas en cualquier momento y, sobretodo, posibilita una adecuada protección del balón al interponer el cuerpo del jugador entre el balón y el oponente (figura 1.12.). El problema de este tipo de armado, surge debido al violento retroceso que se produce en el brazo (rotación externa) al iniciarse la cadena cinética, con la rotación hacia delante del tronco cuando el brazo está aún rotando hacia atrás.

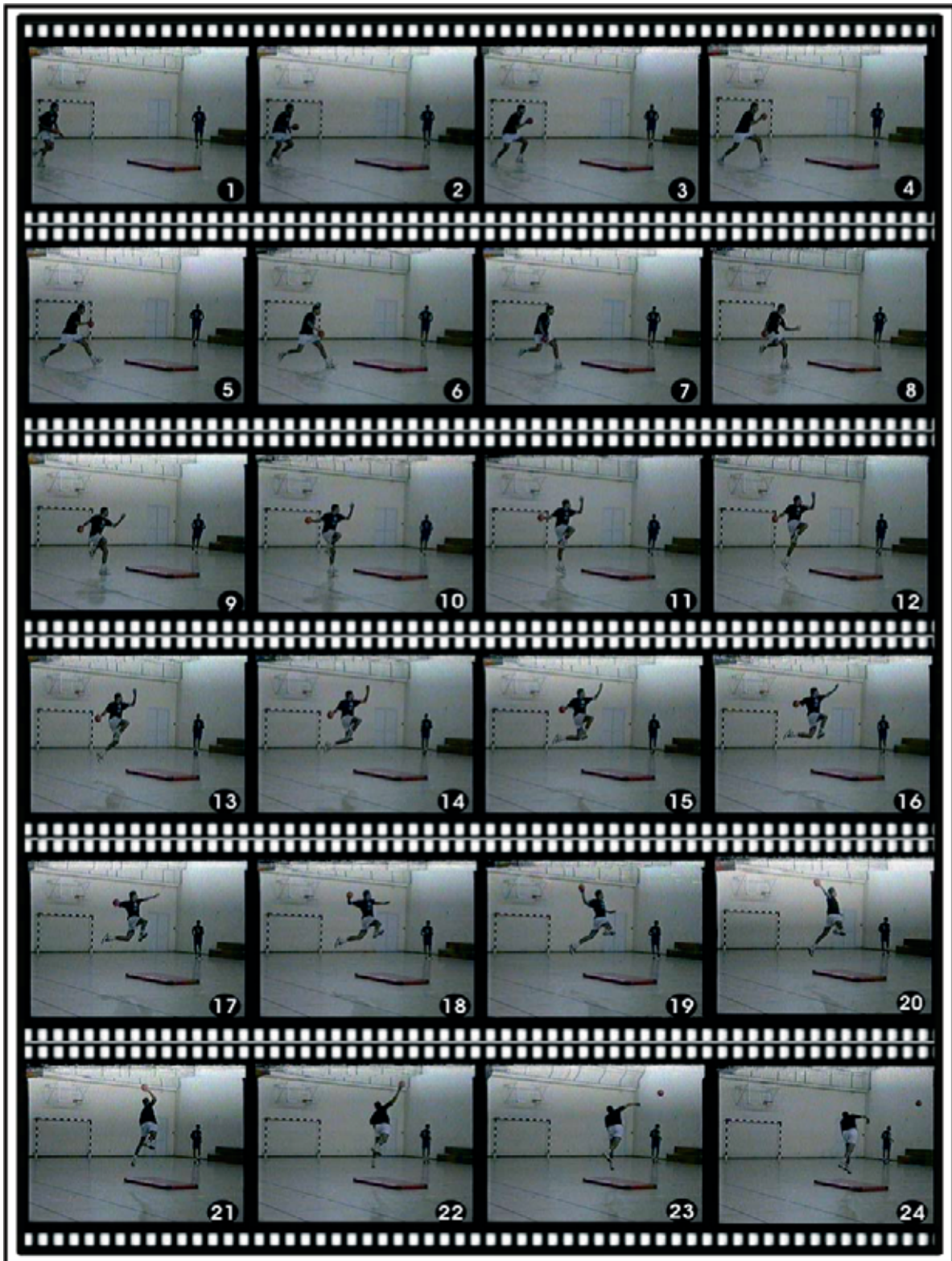


Figura 1.11.- Ejemplo de secuencia de fotogramas del lanzamiento en salto vertical en balonmano (tomado de las filmaciones realizadas para la presente tesis -Sujeto 3-).

El lanzamiento plantea la exigencia de una buena adaptación y manejo de balón para asegurar su posesión, como consecuencia de los movimientos realizados durante el lanzamiento, caracterizados por su gran velocidad y los cambios bruscos con rupturas de movimiento que en él se producen. Se contrarrestan al situar la mano ejecutora interponiéndose en la dirección del balón.

b) En el armado *por detrás*:

El balón pasa de la adaptación con una o dos manos a la altura del abdomen o pecho hacia atrás realizando un movimiento de armado de abajo-atrás-arriba, mediante una circunducción del hombro, que además de no aprovecharse de los efectos del preestiramiento muscular, tiene un mayor recorrido y por tanto un mayor tiempo de movimiento, dificultando la posesión de balón el hecho de que, a gran velocidad, hay momentos en los que es posible que el balón se escape de las manos. Por el contrario, con este armado de brazo se consigue una mayor amplitud de movimiento, y el retroceso que se produce en el brazo (rotación externa) se reduce al iniciarse la cadena cinética con la rotación del tronco hacia delante. En este sentido, aunque se pierde una cierta eficacia en relación al estiramiento previo (ciclo estiramiento-acortamiento), existe menos riesgo de lesiones (figura 1.12). Igualmente supone la posibilidad de ocultar el balón de la visión del oponente directo y/o portero.

1.3.2.- Estudio de los lanzamientos en salto en balonmano

En este apartado se han revisado los distintos trabajos realizados hasta la fecha, en los que se valora la importancia del lanzamiento a distancia en el contexto global del juego del balonmano. La metodología utilizada en ellos se ha basado, fundamentalmente, en análisis estadísticos de frecuencia, condiciones de éxito y otros factores relacionados con la ejecución del lanzamiento en competición de máximo nivel internacional.

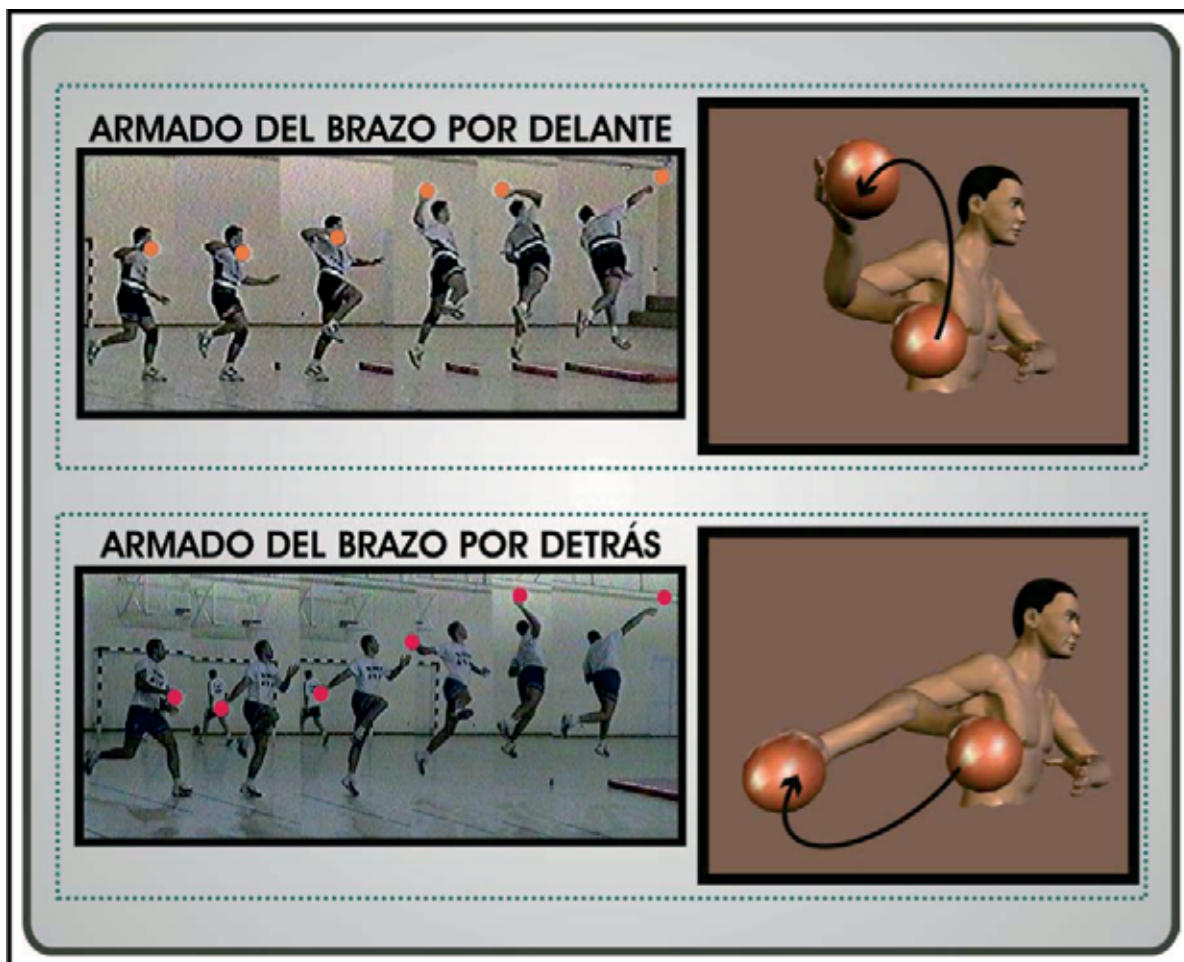


Figura 1.12.- Secuencia de fotogramas y simulación de las técnicas de armado de brazo por delante y por detrás.

Entre los antecedentes sobre análisis de las zonas de lanzamiento en balonmano destacan los trabajos de Antón (1991), López, Párraga y Gutiérrez (2003) y Román (1989, 1993, 1997, 2001a, 2001b, 2001c). Antón (1991) realiza un análisis de las estadísticas del XII Campeonato del Mundo de Balonmano celebrado en Checoslovaquia en 1990. A la vista de los resultados (tabla 1.2.) se observa, que el 44% de los lanzamientos se realizan desde primera línea atacante (figura 1.13.). Este dato nos indica el gran peso específico que tienen estos jugadores en un equipo. En cuanto a la relación goles/lanzamientos, es decir, qué rentabilidad tienen los lanzamientos desde los distintos puestos específicos, se observa (tabla 1.2.) que la mínima eficacia se produce desde esta primera línea, el 34.4% del total de lanzamientos concluye en gol.

Román (1997) efectúa otro análisis similar, aunque haciendo mayor hincapié en los realizados desde la primera línea atacante (desde los puestos específicos de lateral izquierdo, lateral derecho y central). Para ello, utiliza como metodología la comparación estadística de los datos obtenidos en tres competiciones de máximo nivel, como son los Campeonatos del Mundo Masculinos de 1993, 1995 y los Juegos Olímpicos de Atlanta de 1996. Concluye que, del total de lanzamientos que consiguen su objetivo, un 75% fueron lanzamientos realizados a distancias comprendidas entre 9 y 11 metros (1ª línea). En los Juegos Olímpicos de 1996 se produce un relativo descenso en los lanzamientos de primera línea a un 71.5% en datos obtenidos de los seis primeros clasificados (figura 1.14.).

En los Campeonatos del Mundo de Balonmano de Portugal 2003 y Túnez 2005, utilizando las estadísticas oficiales del Comité Organizador, se constataron un mayor número de lanzamientos desde la primera línea (tabla 1.2.), concretamente el 44.67% y el 39.05%, aunque la efectividad desde esta posición era de las más bajas, el 38.9% y el

Tabla 1.2.- Comparativa entre los Campeonatos del Mundo celebrados en Checoslovaquia en 1990 (Antón, 1991) y los Campeonatos del Mundo de Balonmano celebrados en Portugal en 2003 (López, Párraga y Gutiérrez, 2003) y Túnez 2005, en cuanto a los porcentajes de eficacia de los lanzamientos de los equipos, a nivel global, y en puestos específicos.

	Totales	7 metros	1ª Línea	Pivote	Extremo	Contrata.
Checoslov. 1990	2443/4779	313/416	725/2109	602/962	354/670	446/612
	51% (gol) Porcentaje del Total de los Lanzamientos	75.2%(gol)	34.4% (gol)	62.5% (gol)	52.8% (gol)	72.9% (gol)
		9%	44%	20%	14%	13%
Portugal 2003	5051/8159	465/652	1421/3645	941/1468	742/1349	734/1036
	61.9% (gol) Porcentaje del Total de los Lanzamientos	71.3%(gol)	38.9% (gol)	64.1% (gol)	55% (gol)	70.8% (gol)
		7.9%	44.67%	17.9%	16.5%	12.7%
Túnez 2005	4825/8741	564/773	1508/3414	1282/2273	614/1144	857/1137
	55.19%(gol) Porcentaje del Total de los Lanzamientos	72.9%(gol)	44.1% (gol)	56.4% (gol)	53.6% (gol)	75.3% (gol)
		8.8%	39.05%	26%	13.08%	13%

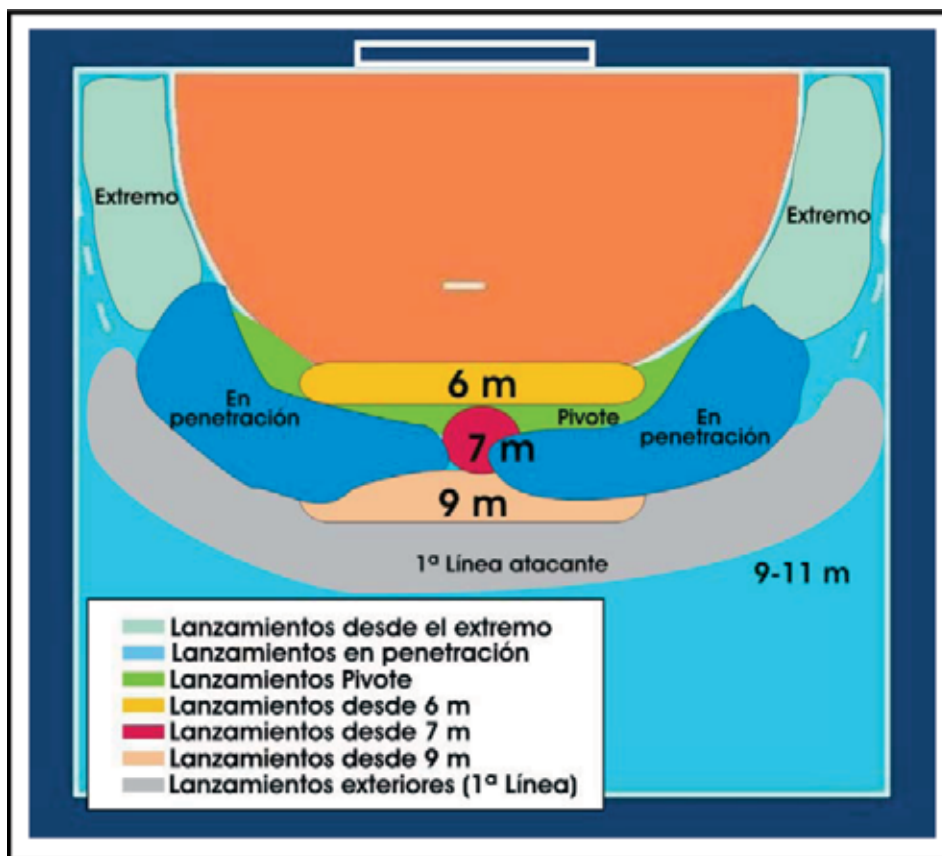


Figura 1.13.- Representación gráfica de las principales zonas de lanzamiento en balonmano.

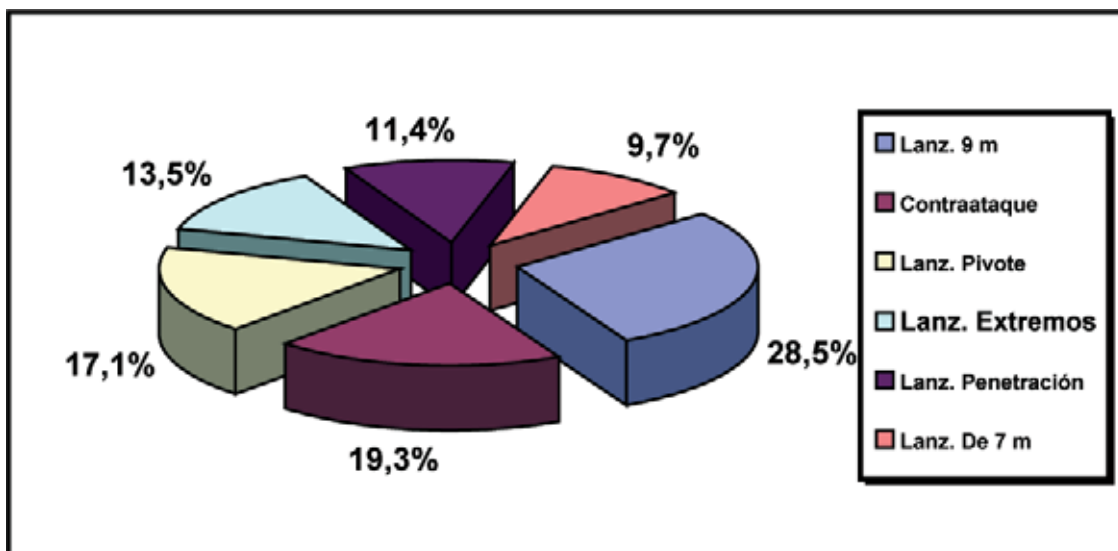


Figura 1.14.- Porcentaje de goles por zonas del 1° al 6° clasificado en los Juegos Olímpicos celebrados en Atlanta en 1996 (Román, 1997).

44.1%, respectivamente. Coincidiendo estos resultados con lo deducido por Antón (1991). De ahí que nos interese por investigar las razones de este hecho y encontrar posibles soluciones.

Utilizando como metodología el análisis de las estadísticas oficiales del Comité organizador del Campeonato de Europa Juvenil Masculino 2001 celebrado en Luxemburgo, Román (2001b) nos ofrece los datos referidos a la eficacia de los lanzamientos desde diferentes espacios, así como el porcentaje de goles sobre el total obtenido desde los citados espacios. En la figura 1.15 se constata que, de todos los lanzamientos observados en el campeonato, el lanzamiento exterior (1ª línea) ocupa el segundo puesto de los más efectivos, es decir, que el 77.3 % de los lanzamientos desde 1ª línea acaban en gol. El número uno del ranking de mayor efectividad es el lanzamiento en penetración con un 92.3%. Las dos zonas con menor porcentaje de efectividad corresponden a la zona de 9 m y a los extremos, 44.5% y 52% respectivamente. El mayor porcentaje de goles en penetración se explica por la menor distancia de lanzamiento y mayor ángulo y, por tanto, mayores posibilidades de localización del balón a portería. Además la perpendicular respecto a la portería garantiza una cadena cinética más eficaz. En el caso de los extremos, la dificultad para conseguir gol es grande debido a la reducción del ángulo de lanzamiento.

En cuanto al porcentaje de goles por áreas o zonas del campo, en la figura 1.16. se pueden apreciar los porcentajes de goles sobre el total de los conseguidos desde los diferentes espacios en el juego de ataque. Se observa que el 16.8 %, del total de los goles, se consiguen desde lanzamiento exterior, es decir, estos lanzamientos representan la tercera zona más efectiva de conseguir gol. La zona desde donde se consiguen más goles es la de 9 m, le sigue la de 6 m, y son los lanzamientos en penetración, con un 4.6%, los que menos goles aportan al cómputo final total de goles.

Román (1989) en un análisis estadístico de los VII Campeonatos del Mundo Junior celebrados en Galicia en 1989, obtiene resultados que denotan un ligero descenso del número y eficacia de los lanzamientos a distancia (9-11m), posiblemente por estar los jugadores aún en fase de formación y suponer estos lanzamientos un mayor riesgo y mayor dificultad de ejecución. Por el contrario, sí se observa un alto protagonismo de los lanzamientos en salto sobre el total de los lanzamientos, y más en concreto, de los realizados a distancia, como queda reflejado en la tabla 1.3. El mismo autor (tabla 1.4.) en un estudio realizado en los Juegos Olímpicos de 1988 celebrados en Seúl, ya pone de manifiesto un descenso de la eficacia de los lanzamientos en salto vertical respecto a otros tipos de lanzamientos, aunque los porcentajes de utilización son igualmente significativos respecto a los analizados en campeonatos anteriores.

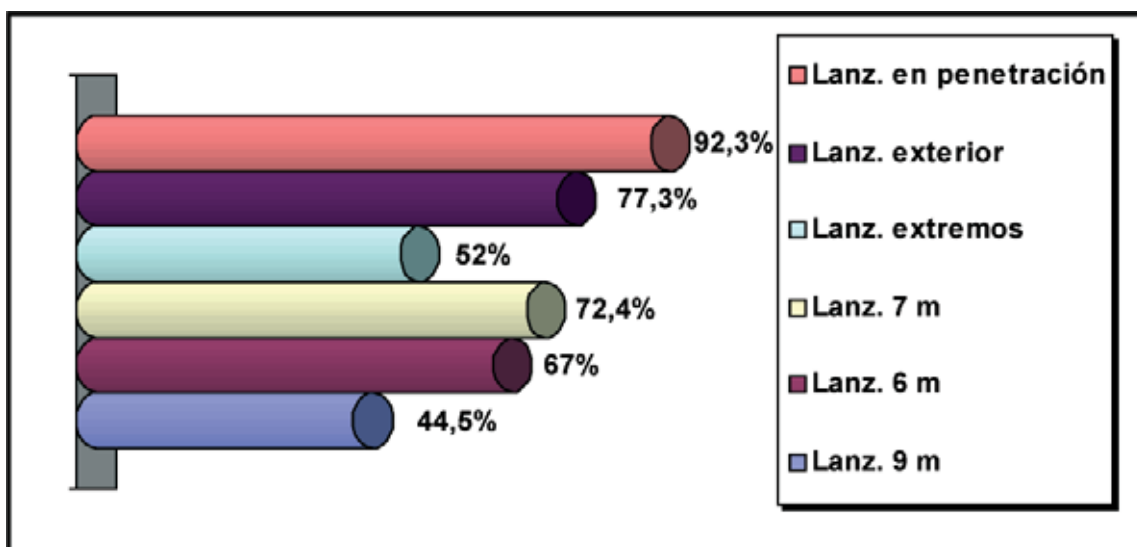


Figura 1.15.- Media efectividad áreas / lanzamientos (adaptado de Román, 2001b).

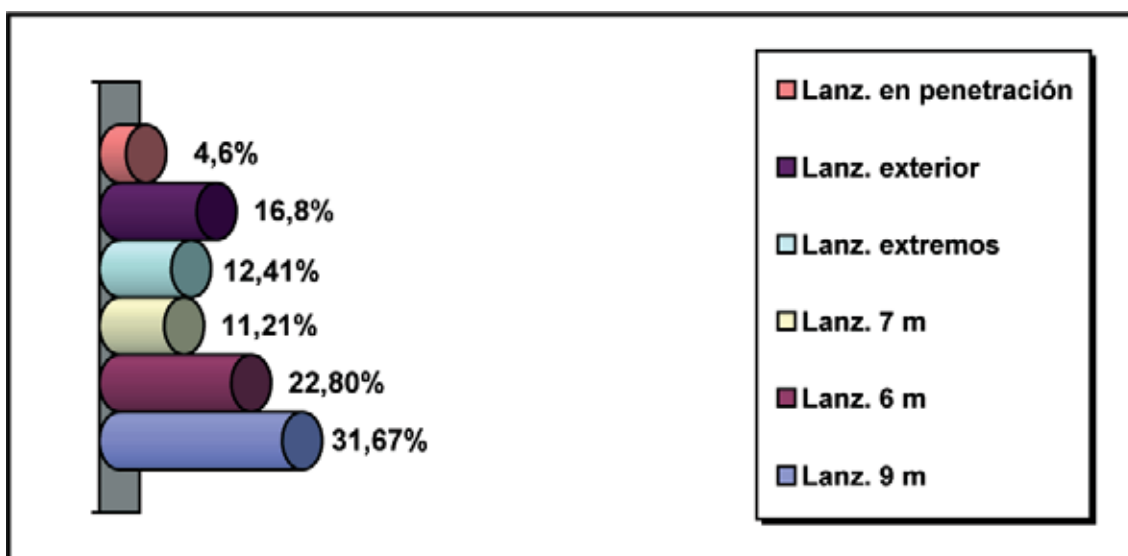


Figura 1.16.- Porcentaje de goles por áreas (adaptado de Román, 2001b).

De todo lo anterior podemos deducir que el lanzamiento a distancia es uno de los más utilizados en balonmano, y dentro de este tipo de lanzamientos, el realizado en salto es el más utilizado. Aunque no se constituye como uno de los más eficaces, ya que sobretodo, entrañan un mayor riesgo al ejecutarse a distancia, y ofrecen de esta forma al portero más tiempo para realizar su intervención (Antúnez, 2003). Además, para este tipo de lanzamientos el número de oponentes que intervienen sobre el lanzador se incrementa respecto a otros.

Los cambios expuestos quizás se puedan explicar también por la aparición, en los últimos años, de una defensa más especializada y experta, con altura y envergadura impensables hace años. Este hecho ha provocado en algunos equipos que los puestos específicos de primera línea atacante, ocupados al menos por uno o dos jugadores con un alto grado de especialización en lanzamientos a distancia, se hayan modificado por la mayor tendencia a utilizar jugadores con mayor polivalencia, con un dominio rico de las acciones técnico-tácticas a emplear en el juego de ataque, en detrimento de una gran altura y envergadura, aunque con mayor capacidad de penetración y juego colectivo.

1.4.- Consideraciones reglamentarias

El deporte del balonmano, al igual que el resto de los deportes, está supeditado a un *sistema de reglas* o *reglamento* de juego que, definido institucionalmente, condiciona y delimita las posibilidades de respuesta motriz de los jugadores.

Tabla 1.3. - Media de efectividad en áreas/lanzamientos en los VII Campeonatos del Mundo Junior de Balonmano celebrados en Galicia en 1989 (Román, 1989).

TIPOS DE LANZAMIENTOS	TOTAL	PORCENTAJE	GOLES	EFICACIA
Lanz. de larga distancia	1543	32.07%	512	83%
Lanz. de corta distancia	2429	50.49%	1341	55.20%
Contraataque	434	9.02%	352	81.10%
Siete metros	404	8.39%	272	67.32%

Tabla 1.4. - Media de efectividad en áreas/lanzamientos sobre los tres primeros clasificados en los JJ.OO. celebrados en Seúl en 1988 (Román, 1993).

	6 M	9 M	Extremo	Contraataque	S.Op.	T	%
1 ^{er} Clasif.	65/93	27/61 (Gol 44%)	18/30	32/41	1/2	165/253	64%
2 ^o Clasif.	33/48	48/139 (Gol 34%)	20/40	17/29	2/4	152/303	50.1%
3 ^{er} Clasif.	36/55	54/127 (Gol 42.5%)	17/25	17/23	1/1	143/255	56%

A nivel mundial es la I.H.F. (International Handball Association) la encargada de definir los aspectos reglamentarios que rigen este deporte y en España es la R.F.E.BM. (Real Federación Española de Balonmano).

El más característico de los elementos estructurales, definidos por el reglamento de balonmano y que determina en gran medida su esencia, es el concepto oposición y su relación de contracomunicación con los adversarios, tanto en las posibilidades de utilización corporal, como en el grado de contacto permitido y ocupación de situaciones espaciales (aspecto que lo diferencia sustancialmente de otros deportes de las mismas características).

Tanto jugadores como entrenadores deben conocer perfectamente las posibilidades de acción que les permite el reglamento, y así ser capaces de ajustar sus acciones técnico-tácticas a cada situación de juego explotando las posibilidades que el reglamento les brinda.

Para analizar y comprender la acción técnica de lanzar a portería, es necesario conocer con precisión qué es lo que permite o prohíbe el reglamento respecto al lanzamiento. A continuación se describen y consideran algunas de las reglas, publicadas por la R.F.E.BM. (2001), más importantes que caracterizan a este deporte y que pueden influir en la ejecución del lanzamiento a portería.

- (Regla 7) **Cómo puede jugarse el balón, juego pasivo:**

De esta regla se ha extraído lo que afecta en menor o mayor grado al lanzamiento.

El reglamento permite:

- a) Tener el balón durante tres segundos como máximo tanto en las manos, como si se encuentra en el suelo.
- b) Lanzar, coger, parar, empujar, golpear el balón utilizando las manos (abiertas o cerradas), brazos, cabeza, tronco, muslos y rodillas.
- c) Dar tres pasos como máximo con el balón, se considera dar un paso cuando:
 - c₁) Un jugador, con los dos pies en contacto con el suelo, levanta uno y lo vuelve a colocar en el suelo, o desplaza un pie de un lugar a otro.
 - c₂) Un jugador con un pie en contacto con el suelo, coge el balón y a continuación toca el suelo con el otro pie.
 - c₃) Un jugador en suspensión toca el suelo con un solo pie y vuelve a saltar con el mismo pie, o toca el suelo con el otro pie.

- c₄) Un jugador en suspensión toca el suelo con ambos pies simultáneamente y luego levanta un pie y lo vuelve a colocar en el suelo, o desplaza un pie de un lugar a otro.

- (Regla 8) **Faltas y conducta antideportiva:**

Esta regla influye significativamente en nuestro gesto objeto de estudio (lanzamiento en salto desde primera línea atacante con y sin oposición defensiva), en el protocolo utilizado con oposición, ésta deberá ceñirse a lo tipificado en el reglamento. El reglamento permite:

- a) Utilizar los brazos y las manos para bloquear el balón o apoderarse del mismo.
- b) Quitar el balón al contrario con la mano abierta y desde cualquier lado.
- c) Utilizar el cuerpo para obstruir el camino al contrario aún cuando el oponente no esté en posesión del balón.
- d) Entrar en contacto corporal con un contrario de frente, con los brazos flexionados y, manteniendo este contacto, controlarle y acompañarle.

El reglamento no permite:

- a) Arrancar el balón al contrario así como golpearlo cuando se encuentra entre sus manos.
- b) Bloquear o empujar al contrario con brazos, manos o piernas.
- c) Retener al contrario, sujetarle, empujarle o lanzarse contra él en carrera o en salto.
- d) Molestar, estorbar o poner en peligro al contrario (con o sin balón) de forma contraria a las reglas.

Las infracciones que se cometan se sancionarán con un golpe franco o con un lanzamiento de 7 metros.

- (Regla 13) **Golpe Franco:**

Es la sanción técnica más usada en balonmano y que en muchas ocasiones es decisiva para la consecución de un "gol". Consiste en la acción de poner el balón en juego después de que un jugador del equipo contrario haya cometido

una acción antirreglamentaria de las tipificadas en las reglas como infracciones que ocasionan una sanción de esta índole. Es muy importante saber que de un golpe franco se puede conseguir "gol" directamente, es decir, realizando un lanzamiento directo a portería se puede conseguir gol. El lanzador debe tener un pie al menos constantemente en contacto con el suelo, por lo que un lanzamiento en apoyo podría ser empleado para conseguir gol directamente. Una opinión utilizada con relativa frecuencia es la realización de un pase, en la ejecución del golpe franco, a otro jugador, y que éste, aprovechándose de la ventaja de la distancia a que deben encontrarse los defensores, realice el lanzamiento en salto.

De hecho, cuando se ejecuta un golpe franco, los jugadores contrarios deben mantenerse a una distancia mínima de 3 metros del balón. Este requisito reglamentario permite realizar lanzamientos en salto sin contacto con los defensores. La colaboración de los compañeros por medio de pantallas (medio básico táctico-colectivo en el que participan un mínimo de dos jugadores más el lanzador con el objetivo de evitar la profundidad defensiva y facilitar el lanzamiento mediante la utilización de los bloqueos frontales), facilita la realización de estos lanzamientos.

1.5.- La Biomecánica como perspectiva científica en el estudio de las técnicas deportivas

Gutiérrez (1998) expone tres definiciones que han sido asumidas por un gran número de investigadores y que dan una idea de lo extensa y vasta que puede ser esta disciplina. La primera de ellas la formuló el Consejo Internacional para el Deporte y la Educación Física en 1971, considerando a la Biomecánica Deportiva como el conocimiento científico del papel que juegan las fuerzas mecánicas que producen los movimientos, su soporte autonómico, implicación neurológica, control integrado y percepción, así como su diseño integrado. La segunda la formuló, en el mismo año, la Escuela Soviética de Biomecánica, la define como la ciencia de la coordinación de los movimientos del hombre. La tercera la expresó, en 1976, la Escuela Belga de Biomecánica, considerando a la Biomecánica Deportiva como el análisis de los movimientos del cuerpo humano.

A partir de estas definiciones expuestas y teniendo en cuenta el sentido práctico de la biomecánica, Gutiérrez (1998) expone que la Biomecánica es una perspectiva científica orientada a establecer los principios y métodos de aplicación mecánica al estudio de las estructuras y fundamentos de los sistemas biológicos. Por tanto, podemos decir que es una rama de la ciencia que estudia las relaciones mecánicas de los seres vivos.

Etimológicamente hablando, la Biomecánica es un término que se compone de las palabras *biología* y *mecánica*. La Biomecánica utiliza los principios y métodos de la mecánica para el estudio de los seres vivos. La mecánica (del griego *mekhaniké*), que significa inventar o ingenio, es la parte de la física que estudia el movimiento de los cuerpos en sí mismo; describiéndolo, y refiriéndolo a sus causas; las fuerzas. También estudia la falta de movimiento; el equilibrio, relacionándolo con las fuerzas que provocan estados de equilibrio.

La Biomecánica Deportiva, como perspectiva científica que busca la mejora de los resultados sobre la base del aumento de la eficacia mecánica del gesto, nos va a permitir profundizar en el conocimiento de las variables mecánicas que intervienen en el resultado patente de la técnica deportiva, como base del funcionamiento del engranaje de las fuerzas mecánicas internas, su soporte autónomo, la implicación neurológica y su control integrado, para intentar dar respuestas científicas a las causas que determinan el gesto deportivo (Gutiérrez, 1998).

Según Gutiérrez (1998) la Biomecánica es una de las ciencias que ha permitido sentar las bases científicas para un verdadero entrenamiento técnico. Los objetivos que debe cumplir esta ciencia son diversos y orientados a aplicar los principios de la física a los sistemas biológicos, buscando la eficacia en el gesto o actividad física o deportiva. Según Bober (1995), la técnica deportiva se considera como un conjunto de tareas de movimiento basadas, tanto en principios biomecánicos, que sirvan para la utilización de la fuerza, velocidad, potencia y resistencia potenciales (los llamados rasgos motores), como en factores somáticos y psicológicos, para lograr los mejores resultados deportivos.

En relación con la presente tesis doctoral, la biomecánica deportiva, como perspectiva científica aplicada al lanzamiento en salto en balonmano, tratará de estudiar la interacción entre los factores de eficacia individuales que permitan al jugador lanzar desde una determinada altura, en el menor tiempo posible, y desarrollar una cadena cinética adecuada, con el propósito de imprimir al balón una velocidad y trayectoria adecuada.

1.6.- Factores biomecánicos que determinan el lanzamiento en salto en balonmano

Siguiendo a Gutiérrez (1988), la técnica básica del lanzamiento en salto a distancia en balonmano, se enmarca dentro del grupo de lanzamientos precisos y de gran velocidad inicial, donde el objetivo será lanzar el balón a la mayor velocidad posible, con el fin de alcanzar un objetivo determinado y ejecutar el gesto en el menor tiempo posible, con el propósito de no dar tiempo al oponente para realizar la oposición. Como veremos más adelante, al ejecutar un lanzamiento con gran

velocidad inicial implica un cierto compromiso con el tiempo de ejecución, ya que la cadena cinética involucrada en el lanzamiento de velocidad incorpora un mayor número de segmentos y, consecuentemente, mayor tiempo de ejecución. En este sentido y bajo el parámetro de técnica ideal, el jugador deberá decidir la ruptura o no del patrón de movimiento a favor de otros factores de tipo táctico, o la utilización de recursos técnicos que tengan como objetivo sorprender al oponente o anticiparse a su acción.

Según lo expuesto, los criterios biomecánicos que contribuyen a la eficacia de la *técnica básica* del lanzamiento en salto vertical a portería en balonmano se pueden resumir en tres aspectos básicos: a) *Posición del balón en el instante de la pérdida de contacto (suelta)*, b) *Desarrollar una cadena cinética adecuada que permita lanzar el balón con la máxima velocidad y en la dirección adecuada* y c) *Realizar la secuencia en el menor tiempo posible*.

A continuación se analizan y detallan cada uno de los tres criterios fundamentales, a nivel biomecánico, que determinan la eficacia del lanzamiento a portería en Balonmano.

1.6.1.- La posición del balón en el instante de la pérdida de contacto

Este aspecto, estrechamente relacionado con la eficacia del lanzamiento, está condicionado, tanto por la oposición que realizan los jugadores de campo como por la posición y movimientos del portero. Aunque la mejor solución sería proyectar el balón desde una determinada altura que dificulte al oponente su intercepción, es posible buscar posiciones de lanzamiento evitando la intervención de los oponentes mediante ajustes posturales durante el desarrollo de la cadena cinética o mediante cambios de dirección, fintas, desmarques u otras acciones realizadas durante la carrera previa y/o batida, es decir durante la fase de lanzamiento propiamente dicho.

Podríamos considerar, como cuestión previa, que el lanzamiento en salto vertical se ejecuta básicamente para proyectar el balón lo más alto posible. Siendo así y siguiendo a Hay (1994), la altura a la que el jugador se desprende del balón se puede considerar como la suma de tres alturas diferentes: a) Altura a la que se encuentra el centro de gravedad (CG) en el instante de perder contacto con el suelo (H_1), b) Altura a la que se eleva el CG durante el vuelo (H_2) y c) Altura comprendida entre el CG y el balón en el instante de pérdida de contacto (H_3). En la figura 1.17. se presentan gráficamente las tres alturas indicadas.

La altura a la que se encuentra el CG en el instante de perder contacto con el suelo (H_1), está condicionada por las características antropométricas del lanzador y por la posición adoptada por el jugador al final de la batida.

La altura a la que se eleva el CG durante el vuelo (H_2), puede considerarse como la más entrenable y condicionada por las cualidades del jugador, ya que depende sobretodo de la cantidad de Impulso de componente vertical que se aplique durante la batida. Está determinada por la componente vertical ($V_y(B1)$) de la velocidad en el momento de la pérdida de contacto del pie con el suelo (expresión 1.1.). La trayectoria del CG estará condicionada por las componentes vectoriales de la fuerza resultante aplicada durante la batida, por lo tanto, los movimientos que pueden realizarse durante esta fase de vuelo sólo pueden considerarse como ajustes o compensaciones entre segmentos, sin poder influir sobre la trayectoria del CG del sistema.

E.1.1.

$$H_2 = \frac{(v_y(B1))^2}{2g}$$

donde H_2 es la altura alcanzada por el centro de gravedad durante el vuelo, $V_y(B1)$ es la velocidad de componente vertical al final de la aplicación de fuerzas y g toma el valor de la aceleración de la gravedad.

La altura comprendida entre el CG y el balón en el instante de pérdida de contacto (H_3), está condicionada por las características antropométricas del lanzador y por las posiciones adoptadas por éste en el instante de perder contacto con el balón.

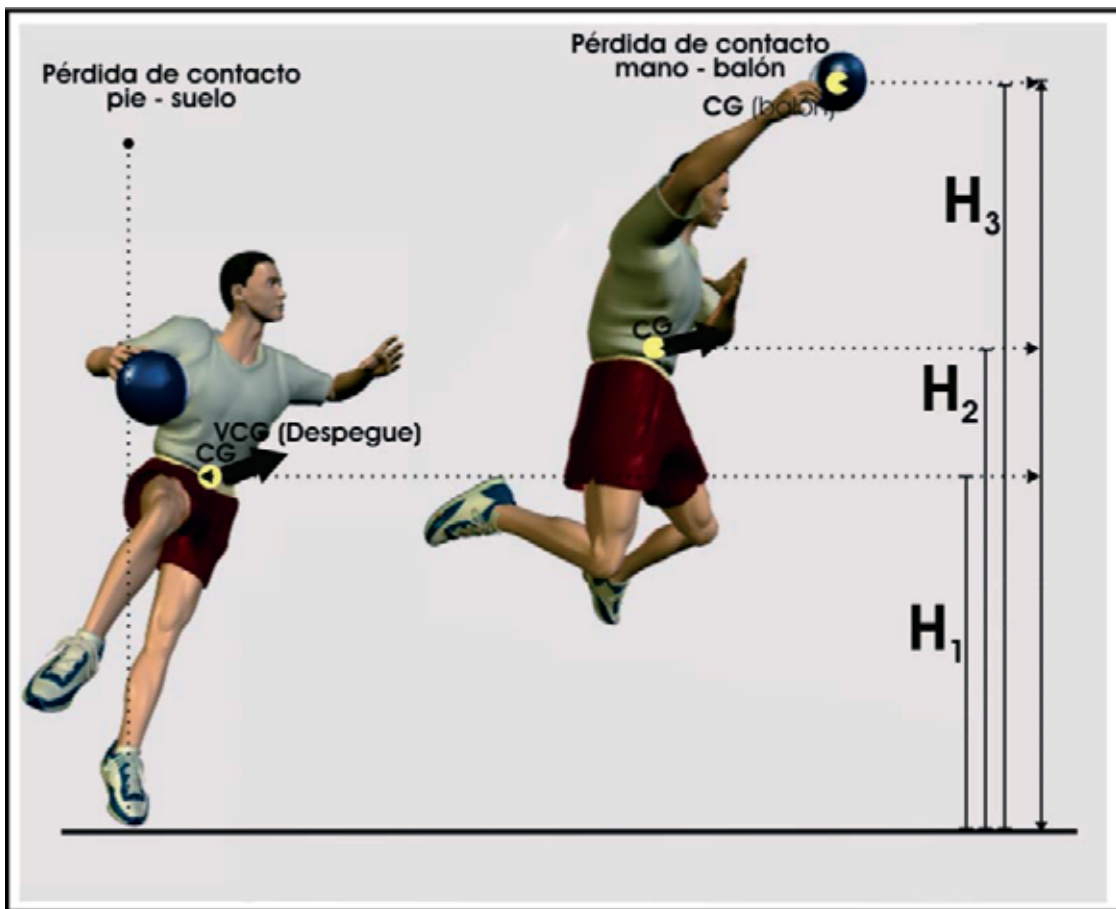


Figura 1.17.- Alturas relacionadas con la altura en la que el jugador lanza el balón.

Como se deduce de lo expuesto, la posición adoptada por el lanzador al final del lanzamiento estará condicionada por tres aspectos: a) Trayectoria de la carrera previa, b) Fuerzas aplicadas durante la batida y c) Ajustes posturales que el lanzador puede realizar durante la fase de vuelo.

1.6.2.- Las cadenas cinéticas desarrolladas durante el lanzamiento

Navarro (1994) define la cadena cinética como el conjunto de segmentos del cuerpo humano que intervienen en una destreza. Establece que, en los lanzamientos y golpes de velocidad, en general, la energía cinética del objeto en el despegue se hace máxima dependiendo de dos factores: a) de la disposición de la cadena cinética (segmentos) al comienzo de la fase de lanzamiento y b) de la adecuada transmisión de energía entre los segmentos de la cadena cinética durante la fase de lanzamiento.

La descripción de un movimiento corporal está sujeta a los movimientos de las partes que lo componen, de los segmentos implicados en cada acción que, enlazados por las articulaciones, hacen del cuerpo humano una estructura dinámica con diferentes posibilidades de movimiento dependientes del enlace de estas estructuras, y de las posibilidades anatómicas de las articulaciones como elementos de unión. El lanzamiento es la consecuencia de la movilidad de dichas palancas para transferir al objeto una velocidad tangencial determinada (Párraga, 1999).

Según Kreighbaum y Barthels (1981), las cadenas cinéticas pueden clasificarse según dos factores: a) en función de la resistencia a vencer y de la actuación de la articulación distal, y b) en función de los objetivos que deben cumplir. En el primer caso se habla de cadenas abiertas o cerradas y en el segundo caso de cadenas secuenciales o de empuje.

Según la resistencia a vencer, las cadenas cinéticas pueden subdividirse en: a) *abiertas*, consiste en una serie de segmentos óseos enlazados mutuamente mediante articulaciones, cuyo último elemento está libre, es decir, no hay que vencer una gran resistencia externa (por ejemplo: el lanzamiento de jabalina o en nuestro caso, el lanzamiento en balonmano); y b) *cerradas*, son una combinación análoga a la anterior pero el elemento distal está fijo o tiene que vencer una gran resistencia que le impide la libertad de movimientos (por ejemplo: el lanzamiento de peso en atletismo o el levantamiento de peso en halterofilia).

Según los objetivos que deben cumplir, las cadenas cinéticas se subdividen en: a) **secuenciales**, son aquellas en las que el último objetivo es alcanzar una gran velocidad en el último segmento de la cadena, actúan mediante una secuencia de participación segmentaria, acelerándose los segmentos desde el proximal al distal (por ejemplo: lanzamiento de jabalina, béisbol, remate de voleibol, etc.). En nuestro

caso, en el lanzamiento en balonmano, se desarrollan también cadenas cinéticas secuenciales; y b) **de empuje**, donde los segmentos se desplazan y aceleran de forma simultánea, teniendo como objetivo la precisión o vencer una gran resistencia. La musculatura proximal tiene una función estabilizadora de la actividad que se realiza con el segmento distal (por ejemplo: deportes como la esgrima, la natación o el remo, baloncesto, etc.).

En los lanzamientos en balonmano, toda cadena cinética deberá procurar los dos objetivos siguientes: a) proyectar el objeto o el segmento más distal a gran velocidad en el espacio y b) proyectar el objeto o el segmento más distal con gran precisión. Su eficacia variará en función de las posiciones adoptadas por los segmentos en el espacio, la contribución de los músculos que mueven dichos segmentos y la secuencia temporal de la participación segmentaria (Atwater, 1980).

Diversos autores (Bunn, 1972; Dyson, 1973; Kreighbaum y Barthels, 1981; McCloy, 1960) sugieren que para crear la máxima velocidad en la extremidad distal de una cadena cinética, se debe respetar la "teoría de la cadena cinética". Una cadena cinética es empleada para generar la transferencia de energía desde los segmentos más pesados y proximales a los más ligeros y distales. La orden secuencial de movilización de los segmentos provoca una activación de los músculos proximales grandes y fuertes primero y pequeños y menos fuertes después, como son los músculos distales (Bunn, 1972; Kreighbaum y Barthels, 1981; Robertson y Mosher, 1985; Zernicke y Roberts, 1976).

Los trabajos centrados sobre los picos de velocidad desarrollados en una cadena cinética, demuestran que este encadenamiento segmentario se traduce en una sucesión de picos de velocidad angular (Feltner, 1989; Marshall y Wood, 1986; Putnam, 1983 y 1991) o lineal (Elliott et al., 1986b; Elliott y Armour, 1988; Jöris et al., 1985) desde los segmentos proximales a los distales, lo que se representa gráficamente en la figura 1.18..

Según Neal et al. (1985 y 1991), en función de la naturaleza de la actividad, el principio de sumación de velocidades no puede ser aplicado de manera universal. Por consiguiente se considera que la teoría según la cual los picos de velocidad lineal o angular se suceden desde los segmentos proximales a los distales, se aplica solamente a ciertos movimientos humanos, como es el caso de los lanzamientos de mano alta (Putnam, 1991 y 1993).

Los numerosos estudios sobre los lanzamientos de mano alta en diferentes disciplinas (tenis, béisbol, jabalina, waterpolo, bádminton, balonmano, etc.), demuestran que, en primer lugar, se movilizan las piernas, después el tronco, el brazo, el antebrazo y la mano (Atwater, 1979; Plagenhoef, 1971). La sucesión de picos de velocidad ha sido identificada en estudios sobre el servicio en tenis (Elliott et al., 1986b; Plagenhoef, 1971; Van Gheluwe y Hebbelink, 1983), en otros sobre el smash en tenis (Elliott et al., 1989), en béisbol (Elliott et al., 1986a; Vaughn,

1985), en el lanzamiento de jabalina (Best et al., 1993; Mero y Komi, 1994; Whiting et al., 1991), en el penalti en waterpolo (Elliott et Armour, 1988), en bádminton (Carazo, 2004) y en el lanzamiento de balonmano (Jöris et al., 1985).

Las posiciones que adoptan los segmentos en el espacio tienen que permitir incrementar la distancia del segmento distal con respecto al eje de rotación, ya que cuando se pretende incrementar la velocidad tangencial (v_t) al segmento contiguo, ésta es directamente proporcional al producto entre la velocidad angular (w) y su distancia al eje de giro (r). La secuencia temporal de movimiento se inicia con el desplazamiento angular del segmento más estable, seguida de la rotación del segmento distal contiguo, y así hasta el segmento más distal. Para que el último segmento obtenga una velocidad angular relativamente grande, es necesario que, durante dicha secuencia de movimientos, exista una adecuada *transferencia del momento angular* entre los segmentos implicados, considerando, teóricamente, que el momento angular general del sistema va a permanecer constante, siempre y cuando no se apliquen fuerzas externas. En la figura 1.19. se representa una cadena cinética abierta, así como la consecuencia de una transferencia de momentos de los segmentos más proximales a los más distales.

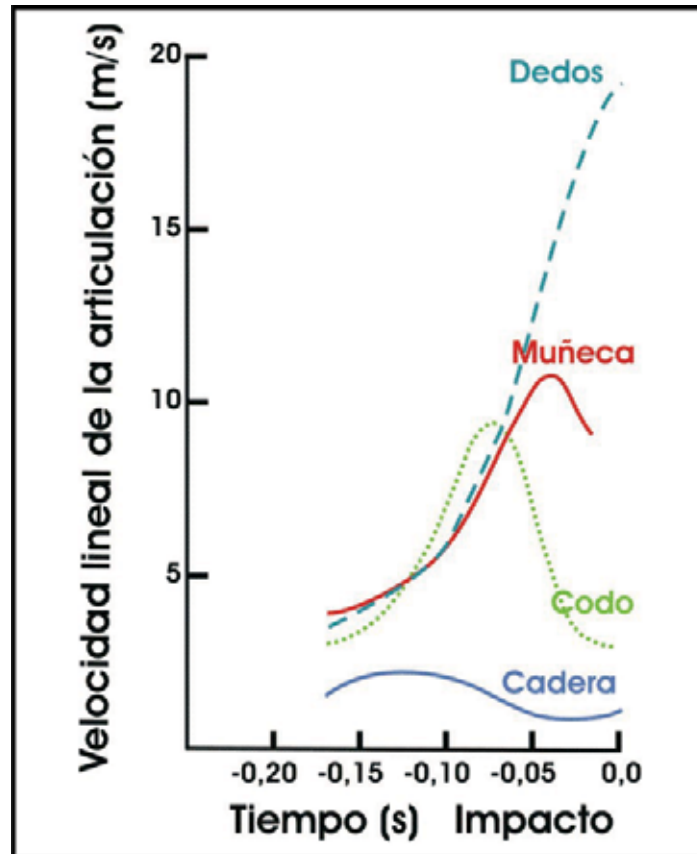


Figura 1.18.- Ejemplo de evolución de velocidades lineales en el curso de un lanzamiento en balonmano (adaptado de Durocher, 2001).

En cuanto a la participación muscular, la cadena cinética se inicia con la contracción de los músculos implicados en la movilidad de los segmentos más proximales, sobre todo del tronco, y para ello es necesario que sean capaces de generar un gran impulso angular del sistema, el cual podrá transferirse de segmento a segmento, con la colaboración de la contracción de los músculos relacionados con las articulaciones contiguas. En las fases finales de la cadena cinética, el segmento distal ya posee una gran velocidad angular, contrayéndose rápidamente los músculos agonistas para intentar aumentar la velocidad del segmento, pero debido a la gran velocidad que ha alcanzado dicho segmento, la tensión generada por la musculatura debe ser mínima (Hill, 1922), de ahí la escasa participación muscular en las últimas fases de la cadena cinética.

En el caso específico del lanzamiento en balonmano, el concepto de transferencia angular se puede explicar simplificando el sistema de segmentos del miembro superior a tres; el primero y más proximal, representado por una línea que une los centros articulares de los dos hombros; el segundo, por el segmento del brazo y, el tercero, por el segmento antebrazo, limitando el movimiento de dichos segmentos en el plano transversal, como aparece en la figura 1.20.

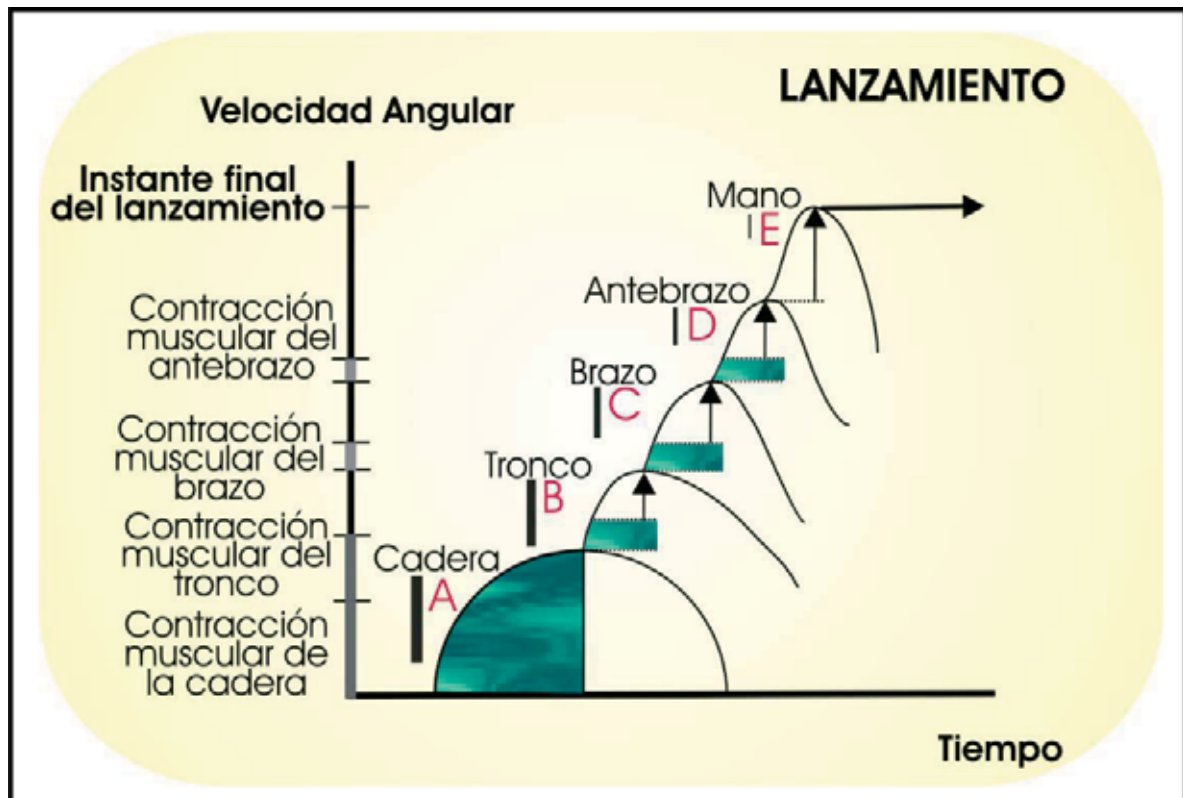


Figura 1.19.- Transferencia del momento angular generado en una cadena cinética de tipo secuencial (adaptado de Kreighbaum y Barthels, 1981).

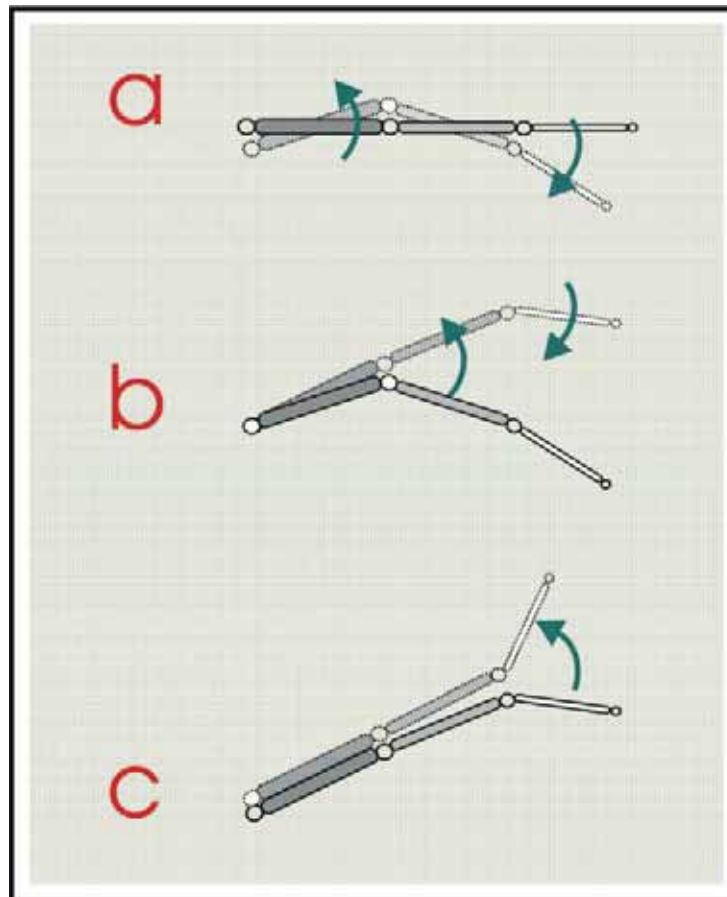


Figura 1.20.- Representación esquemática de la cadena cinética secuencial en el miembro superior (adaptado de Gutiérrez, 1998).

Los grandes grupos musculares proximales desarrollan momentos de fuerza que producen una aceleración angular sobre el primer segmento y un retroceso de los segmentos contiguos como consecuencia de dicha aceleración, lo que conduce a un estiramiento previo o actividad excéntrica de la musculatura flexora del hombro (figura 1.20a), cuando se ha conseguido la máxima aceleración angular del segmento proximal y los segmentos contiguos su máximo retroceso, el segmento proximal reduce su velocidad angular. Como consecuencia de dicha desaceleración y de la participación concéntrica de la musculatura flexora del hombro, el segmento brazo se acelera, produciendo, a su vez, un retroceso del segmento antebrazo (figura 1.20b), el cual comienza su aceleración hacia delante cuando el segmento brazo reduce su velocidad angular a causa de la actividad excéntrica de los músculos extensores del hombro (figura 1.20c). El retroceso del segmento brazo persiste hasta que cesa la aceleración del segmento proximal, se alcanza el límite de la movilidad articular o se ha completado el estiramiento activo de los músculos flexores (Gutiérrez, 1998).

Este modelo de cadena cinética del lanzamiento en balonmano, se identifica como *cadena cinética secuencial* (Kreighbaum y Barthels, 1981). El modelo general de cadenas cinéticas secuenciales del miembro superior comienza con la rotación de la cadera sobre el eje vertical, seguida de una rotación del tronco e inclinación lateral del tórax. Esta acción del tronco superior va unida a una rotación externa del brazo y una flexión del codo. A continuación comienza una rotación interna del brazo y extensión del codo, con ligera rotación y flexión lateral del tronco hacia el lado opuesto del lanzamiento (Navarro, 1994).

1.6.3.- El análisis temporal

Según Gutiérrez (1992), los lanzamientos en salto con carrera previa en voleibol, y más adelante adaptado por Párraga (1999) para el lanzamiento en salto en balonmano, se pueden dividir en las siguientes fases secuenciales: a) *Carrera previa*, b) *Batida*, que a su vez se subdivide en b₁) *Impulso de frenado* y b₂) *Impulso de aceleración*, c) *Preparatoria del lanzamiento* y d) *Lanzamiento*.

- a) *Carrera previa*: Son los pasos previos antes del impulso de frenado, serán variables, no podrán exceder de tres (0, 1, 2, 3), según el reglamento oficial de juego, y las características de éstos ofrecen múltiples combinaciones (frontales, diagonales, laterales, cruzados, combinados, largos, cortos, uno o dos apoyos en el impulso, etc.), se puede iniciar o finalizar indistintamente por uno u otro pie, y estarán condicionados por factores tácticos de ajustes espaciales en función, fundamentalmente, de

los oponentes y también de las propias características del lanzador y la valoración de cada situación concreta de juego. Esta fase finaliza con la toma de contacto del pie de batida en el suelo antes de aplicar las fuerzas contra el suelo.

b) *Batida*: la cual se subdivide en:

b₁) *Impulso de frenado*: abarca desde la toma de contacto del último apoyo de carrera hasta el momento de flexión máxima alcanzada por la articulación de la rodilla de la pierna de batida.

b₁) *Impulso de aceleración*: comprende desde que se consigue el máximo ángulo de flexión de la rodilla hasta que el pie pierde contacto con el suelo.

c) *Preparatoria del lanzamiento*: desde la pérdida de contacto del pie-suelo hasta que se obtiene la máxima torsión del tronco (máximo ángulo del hombro del brazo ejecutor).

d) *Lanzamiento*: comprendida desde que comienza la distorsión del tronco hasta que la mano pierde el contacto con el balón.

El propósito de cada una de estas fases, tiene mucho que ver con los objetivos que deben cumplirse en la siguiente, así, el de la *Carrera* es preparar las condiciones óptimas de la batida, la del *Impulso de Frenado* aplicar las fuerzas necesarias para frenar el desplazamiento horizontal del CG y orientar la cadera adecuadamente en la dirección del lanzamiento, el del *Impulso de Aceleración* aplicar las fuerzas necesarias para subir el CG lo más alto posible, el de la fase *Preparatoria de lanzamiento* establecer las condiciones óptimas para desarrollar la cadena cinética y la de *Lanzamiento* conseguir una velocidad y trayectoria del balón adecuada a las necesidades de cada lanzamiento.

En la carrera previa, cuando existe oposición directa de jugadores de campo, deberíamos de considerar como factores determinantes, tanto la trayectoria del CG del jugador como los cambios de dirección que se producen durante dicha trayectoria. Serán dos factores que determinarán la posibilidad de realizar el lanzamiento reduciendo la posibilidad de bloqueo defensivo. El objetivo de la carrera previa, desde un punto de vista eminentemente técnico, será obtener, al final de la

misma, una velocidad final del CG razonable y una posición adecuada. Pueden existir otras necesidades tácticas por las que sea necesaria una carrera previa, así como sus características (alejarse de oponentes, ocupación de espacios eficaces, ajuste de distancias, etc.), que no vamos a analizar en este estudio, centrándolo en aspectos técnicos o factores que determinan la eficacia de la técnica básica del lanzamiento en salto en Balonmano.

Al margen de los cambios de dirección que pueden darse en los pasos previos, el último paso debería tener una trayectoria diagonal, con respecto a la portería. Cuando se utiliza una trayectoria perpendicular a la portería, el eje de las caderas, que determina en cierto modo la eficacia posterior de la cadena cinética implicada en el lanzamiento, queda orientado de forma paralela a la portería y cuando comienza la secuencia temporal de la cadena cinética, dicho eje de caderas gira sobre el eje vertical, en sentido contrario a como lo hace el eje de los hombros, para mantener constante el momento angular durante el vuelo, cambiando su orientación y limitando la posibilidad de un lanzamiento eficaz a portería (Párraga et al., 2001).

Sin embargo, cuando la trayectoria utilizada es diagonal, o incluso paralela a la portería, el comienzo de la secuencia temporal, hace que el eje de las caderas termine su rotación con una orientación paralela a la portería, favoreciendo la posibilidad de un lanzamiento eficaz en todas las direcciones. Se trata de un caso parecido a la orientación de la cadera que adoptan los tenistas cuando realizan el saque. Los más experimentados colocan inicialmente el eje de sus caderas perpendicular a la red para después girarla y terminar el golpe con una orientación paralela a la red (Gutiérrez, 1992).

Al margen de esas consideraciones técnico-tácticas, en la carrera previa al lanzamiento, se deben considerar distintos factores de eficacia (figura 1.21.): a) la velocidad horizontal al final de la carrera, b) la velocidad vertical al final de la carrera y c) la posición adoptada al final de la carrera.

La necesidad de conseguir una alta velocidad de componente horizontal al final de la carrera está relacionada con la posibilidad de incrementar el impulso vertical desarrollado durante la batida. Así, durante la fase de Impulso de Frenado, cuando se apoya el pie delante del cuerpo, las fuerzas radiales que el suelo ejerce sobre el lanzador hacen que los músculos extensores de la rodilla actúen de forma excéntrica, resistiéndose a la flexión de la pierna.

La tensión desarrollada por los músculos extensores de las piernas, en estas condiciones, depende de la tensión previa y de la velocidad de estiramiento del músculo, lo que está relacionado con la velocidad de desplazamiento previo del CG del sistema. Considerando la existencia de esta tensión muscular durante la fase de Impulso de Frenado (preestiramiento activo), cuando exista una carrera previa y siguiendo las aportaciones de Cavagna et al. (1965), existirá un incremento

de la fuerza de contracción muscular concéntrica durante la fase de Impulso de Aceleración, lo que se denomina *Ciclo Estiramiento-Acortamiento* (Bosco, 1985; Komi, 1984).

En un sentido más mecanicista, es posible explicar el efecto que tiene la carrera previa sobre la altura de un salto y, concretamente, en el tiempo de vuelo de un lanzamiento en balonmano en salto. Siguiendo a Hochmuth (1973), la integral de la función fuerza/tiempo durante la aplicación de fuerzas, representa la magnitud del impulso y la cantidad de movimiento que adquiere el sistema. En la expresión 1.2., el primer término representa el impulso y el segundo la cantidad de movimiento.

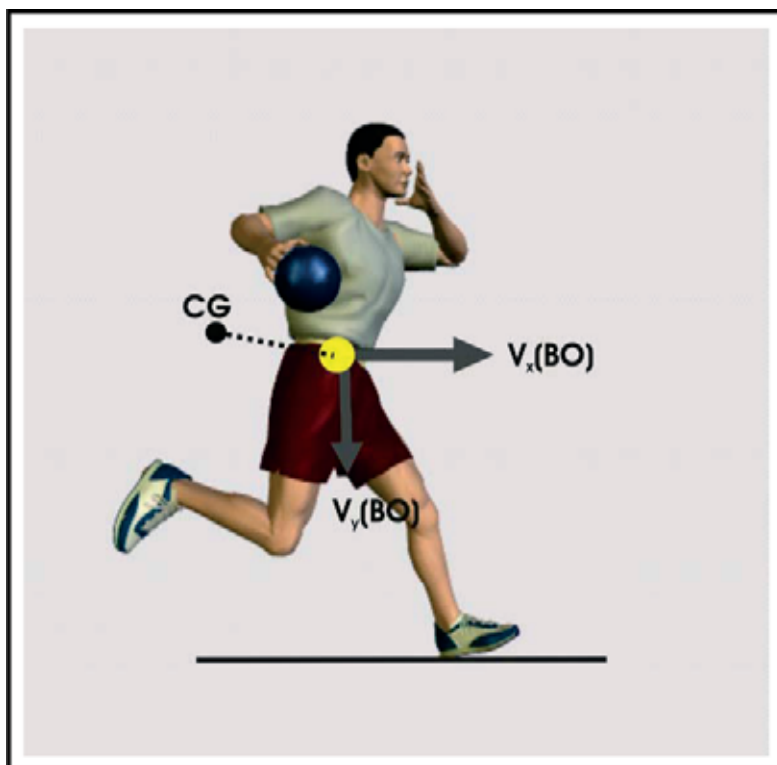


Figura 1.21.- Factores de eficacia en la carrera previa en un lanzamiento en salto en balonmano (adaptado de Gutiérrez et al., 1992).

Cuanto mayor sea la integral, es decir, mayor superficie acotada por la curva fuerza / tiempo, tanto mayor resulta la modificación del impulso y, consecuentemente, la altura alcanzada por el CG. Ateniéndonos a este preámbulo, cuando se realiza un impulso de frenado previo al impulso de aceleración existe un incremento de la integral del impulso de aceleración, lo que Hochmuth denominó *Principio de Fuerza Inicial*, representado en la figura 1.22.

E. 1.2.

$$\int_{t_1}^{t_2} F \cdot dt = \int_{v_1}^{v_2} m dv$$

Expresión que define el impulso neto durante un salto vertical y la cantidad de movimiento, donde t_1 y t_2 es el tiempo inicial y final de la aplicación de la fuerza, F es la fuerza aplicada durante el tiempo $(t_2 - t_1)$, m es la masa del jugador y v_1 y v_2 , las velocidades del centro de gravedad al comienzo y al final de la aplicación de fuerzas, respectivamente.

Con respecto a la velocidad vertical al final de la carrera, ésta debería tener valores próximos a cero, ya que una velocidad negativa demasiado alta reduciría la velocidad de componente vertical al final de la batida, por el contrario, si la componente vertical es demasiado alta al final de la carrera, se reduciría la distancia de aceleración vertical y, consecuentemente, la velocidad vertical al final de la batida.

Finalmente, en cuanto a la posición adoptada al final de la carrera, ésta busca como objetivo mantener el centro de gravedad retrasado respecto al pie de apoyo durante la fase de batida, obteniéndose de esta forma tres consecuencias positivas: a) aumentar las fuerzas de reacción durante el impulso de frenado, b) mantener el centro de gravedad más bajo al final de la carrera y c) facilitar que el último apoyo se realice en un tiempo relativamente más pequeño, lo que favorecería una anticipación del gesto con respecto al oponente.

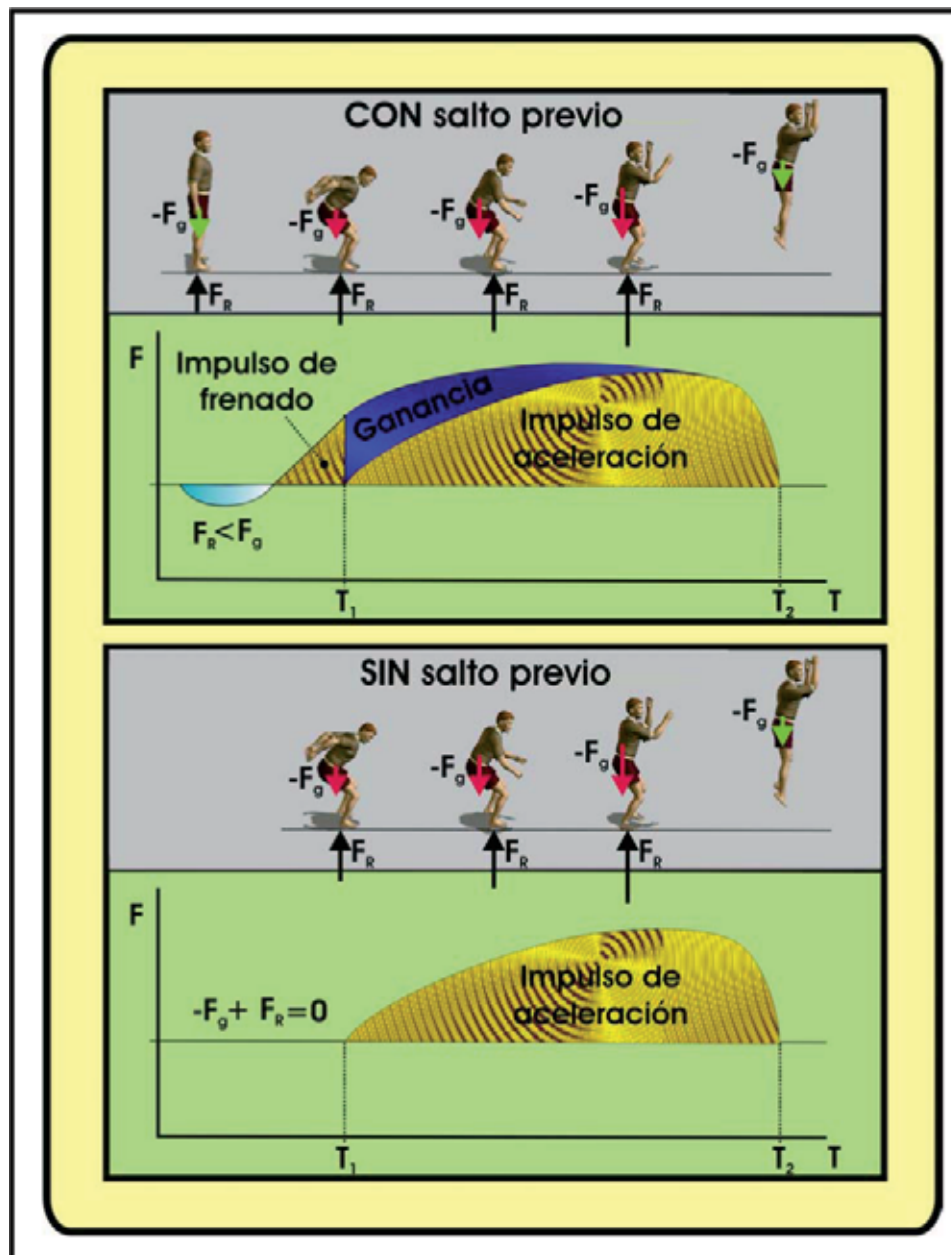


Figura 1.22. - Representaciones gráficas de los impulsos verticales de aceleración desarrollados durante un salto vertical con y sin impulso previo (adaptado de Gutiérrez, 1999).

Como se ha puesto de manifiesto en el apartado dedicado a los aspectos reglamentarios, el reglamento en Balonmano permite recibir el balón en fase aérea o en contacto con el suelo, dependiendo de ésta apreciación, el número de pasos contabilizados en apoyos de cada pié con el suelo variará, produciéndose el mayor ciclo posible cuando el jugador recibe el balón en el aire, pudiendo realizar un primer contacto con el suelo que no se contabilizaría como un primer paso y comenzando en este momento el denominado ciclo de pasos que permitirá, tres nuevos apoyos. Se atiende a un ciclo de apoyos que variará en función de la situación espacial inicial del jugador. Dependiendo del uso del desplazamiento específico con balón que haga el jugador, variará el tiempo de carrera, de la misma forma que variará la duración entre cada uno de los pasos. Además, en caso de existir oposición, las posibilidades de variabilidad aumentan, pudiendo variar, por ejemplo, las trayectorias, cambios de dirección, distancia, cambios de ritmo, etc.

La siguiente fase, tras la carrera previa, es la batida, la cual se ha dividido en dos períodos consecutivos, que se han denominado impulso de frenado e impulso de aceleración, respectivamente. El propósito del impulso de frenado es crear una preactivación de los músculos extensores de la rodilla con el fin de conseguir un mayor impulso neto de componente vertical durante la fase siguiente de impulso de aceleración. Cuando la velocidad de componente horizontal es relativamente pequeña, la preactivación muscular se realiza a expensas de bajar el CG durante esta fase, lo que hace que la componente vertical de la velocidad adquiera unos valores negativos relativamente altos antes de comenzar el impulso de aceleración. Este hecho supone un beneficio para la preactivación muscular pero, como se ha expuesto, resulta negativo para la velocidad de componente vertical al final del impulso de aceleración.

Durante el período de impulso de aceleración el pie de batida empuja contra el suelo para obtener una fuerza de reacción de componente vertical, que le permita acelerar el centro de gravedad hacia arriba. Por lo tanto, la fase del impulso de aceleración tiene como uno de sus principales objetivos, la obtención de valores máximos de velocidad de la componente vertical al final de la batida y una componente horizontal adecuada a cada situación. Si no se consigue disminuir lo suficiente la componente horizontal durante la fase de impulso de frenado, durante el impulso de aceleración se reduciría la componente vertical, algo no muy aconsejable, ya que se reduciría la altura del lanzamiento y existiría peligro de abalanzarse y contactar con un defensor e incurrir en una sanción reglamentaria o falta técnica de ataque (significando la pérdida del balón). En algunos casos, el que no se reduzca demasiado la velocidad de componente horizontal puede beneficiar a la velocidad de salida del balón ya que, a la velocidad que el segmento distal adquiere al final de la cadena cinética, habría que sumarle la velocidad de componente horizontal del centro de gravedad, siempre que las direcciones y sentidos coincidan. Sucede esto cuando el lanzador consigue anticiparse a las acciones defensivas

obteniendo, de esta manera, un ajuste de distancias óptimo.

Durante la batida, la contribución segmentaria es un factor determinante para la velocidad del CG al final de la misma, lo que se justifica mediante el Teorema del Centro de Masa, el cual viene a expresar, que si se considera el cuerpo del jugador como un sistema compuesto por catorce segmentos, con interacción mutua y en contacto con el suelo a través de la pierna de batida, las aceleraciones producidas por el CG tienen una relación directa con las masas y aceleraciones producidas por cada segmento e inversa con la masa total del cuerpo del jugador, lo que se pone de manifiesto en la expresión 1.3. (Gutiérrez, 1998).

E.1.3.

$$a_{CG} = \frac{\sum_{i=1}^{i=15} m_{(i)} \cdot a_{(i)}}{\sum_{i=1}^{i=15} m_{(i)}}$$

donde $a_{(CG)}$ corresponde a la aceleración producida por el centro de gravedad, $m_{(i)}$, las masas segmentarias y $a_{(i)}$ las aceleraciones de cada uno de los catorce segmentos corporales.

Las aceleraciones segmentarias durante la batida de un salto de altura se ponen de manifiesto en los trabajos de Dapena y Chung (1988), que apoyándose en los trabajos de Hill (1922), Komi (1973) y Perrine y Edgerton (1978), consideran que la acción segmentaria, especialmente tronco y brazos, tiene un efecto favorable sobre el ciclo estiramiento/acortamiento de la musculatura extensora de las piernas.

Para conseguir una buena acción de brazos y pierna libre, se deben acelerar fuertemente los dos brazos y pierna libre hacia adelante y hacia arriba durante la batida, procurando que vayan lo más extendidos posible, ya que se produciría una reducción de la velocidad radial segmentaria y consecuentemente, del efecto positivo que tiene sobre la batida. Al mismo tiempo, esta acción sirve como preparación de las acciones posteriores de armado de brazo. Para que los brazos puedan seguir contribuyendo al incremento de las fuerzas que empujan contra el suelo durante el período de impulso de aceleración, deben mantener constante su velocidad hasta el final de la batida. Este hecho, de mantener los brazos a una velocidad constante después de ser acelerados, tiene dos efectos positivos importantes: a) Permite que los brazos estén altos al final de la batida, contribuyendo a que el centro de gravedad también lo esté (expresión 1.4.) y b) Contribuye a que la velocidad del CG al final del impulso de aceleración o principio de la fase de vuelo sea mayor (cuando comienza la fase de vuelo, la velocidad del centro de gravedad está relacionada con las masas y sus velocidades segmentarias), lo que se comprueba con la expresión 1.5.

E.1.4.

$$y_{CG} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} m_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^{i=n} m_i}$$

donde Y corresponde a la posición vertical del CG, m_i las masas segmentarias e y_i las posiciones corporales.

E.1.5.

$$C_{CG} = m_T v_{CG} = \sum_{i=1}^{i=n} m_i v_i = \text{constante}$$

donde C_{CG} es la cantidad de movimiento que posee el sistema, m_T es la masa total del sistema, v_{CG} la velocidad del centro de gravedad instantes después del despegue, m_i la masa de cada segmento y v_i es la velocidad segmentaria.

La fase preparatoria del lanzamiento (figura 1.23a) supone una fase en la que el CG se desplaza hacia arriba, se realizan movimientos destinados a preparar la cadena cinética y, se llevan a cabo movimientos de engaño (fintas) o se espera el instante oportuno para iniciar la cadena cinética de lanzamiento.

Según el *Principio de Conservación del Momento Cinético o Angular*, cada uno de los momentos angulares, desarrollados durante la batida a través de los ejes de un sistema de referencia tridimensional alineado con la dirección del centro de gravedad, permanecerán con un valor constante después de que el lanzador haya despegado del suelo, ya que no existe ninguna fuerza ni momento de fuerza exterior que los pueda modificar, aunque si es posible modificar la posición y obtener ciertos cambios sobre la rotación del cuerpo o de unos segmentos particulares, sin que el Momento Angular cambie.

En realidad los únicos movimientos que el jugador puede hacer en el aire tienen un carácter compensatorio, es decir, si se gira una parte del cuerpo en un sentido, la otra girará en sentido contrario.

Según el Principio de Conservación del Momento Cinético o Angular, comentado anteriormente, el giro de los hombros sobre el eje vertical en dirección a las agujas del reloj, en lanzadores diestros, produce un giro del eje de caderas y miembros inferiores sobre el mismo eje pero en sentido contrario para mantener el Momento Angular constante (figura 1.23b y c).

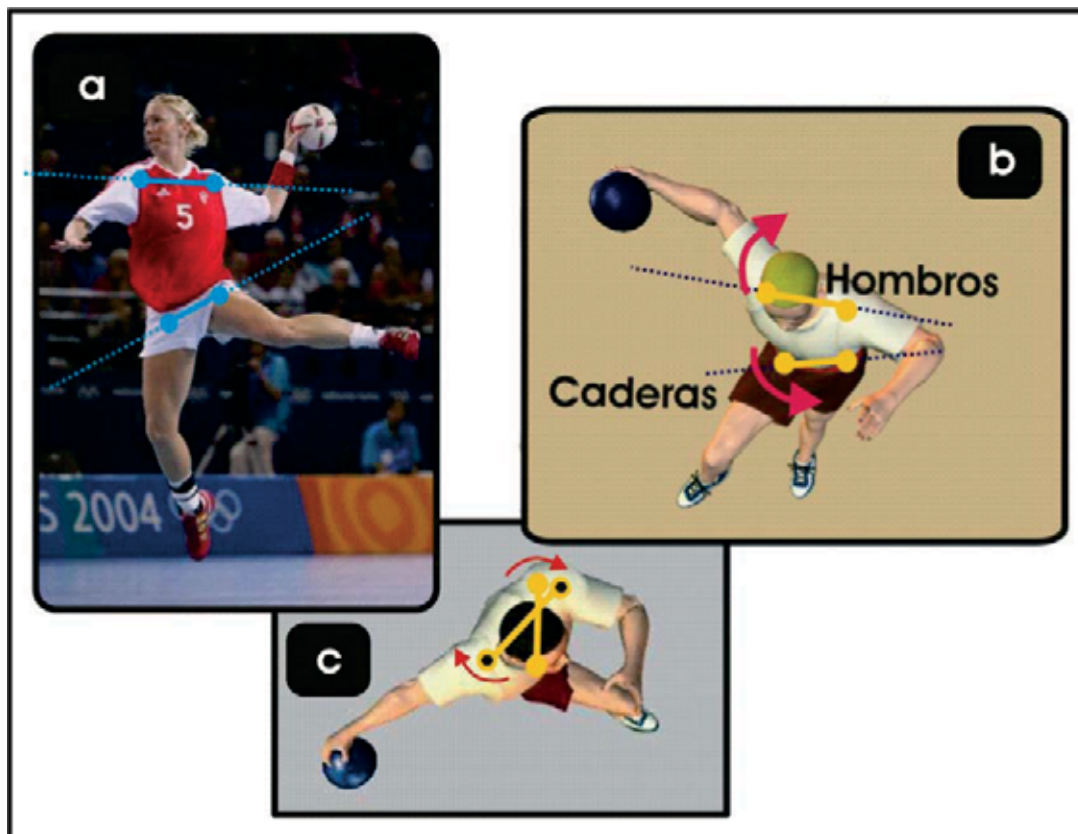


Figura 1.23.- Acción de los hombros y la cadera durante la fase preparatoria del lanzamiento.

Este hecho sitúa al eje de caderas con una orientación más paralela con respecto a la portería, antes de iniciar la cadena cinética de lanzamiento, algo que no es deseable (figura 1.24a), el eje de caderas debería adoptar una orientación oblicua (figura 1.24b) e incluso perpendicular con respecto a la portería, de esta forma se beneficiaría la orientación de la cadena cinética. Para evitar dicho efecto negativo se recurre a mantener la pierna libre en la posición adquirida al final de la batida, es decir muslo alto y rodilla con un ángulo algo superior a los 90°. La pierna de batida queda alejada con respecto al eje vertical y ligeramente flexionada para que los segmentos implicados en la rotación contraria a las agujas del reloj se sitúen lejos del eje de rotación vertical, lo que hace aumentar el radio de giro, mientras los segmentos implicados en la rotación a favor de las agujas del reloj (brazos) se aproximan a este mismo eje de giro, lo que provoca una reducción del Momento de Inercia.

Considerando que durante la batida no se produzca impulso angular a través del eje vertical, la cantidad de giro sobre este eje sería nula y durante el vuelo debería permanecer constante. Así es posible establecer la igualdad que expresa la expresión 1.6.

E.1.6.

$$\sum_{i=1}^{i=15} (I_{(s)i} \cdot W_{(s)i}) = \sum_{i=1}^{i=15} (I_{(i)i} \cdot W_{(i)i})$$

donde $I_{(s)}$ y $I_{(i)}$ corresponden al Momento de Inercia de los segmentos superiores e inferiores, respectivamente, y $W_{(s)}$ y $W_{(i)}$ la Velocidad Angular de los segmentos superiores e inferiores respectivamente.

Si $I_{(i)}$ es mayor que $I_{(s)}$, para mantener la igualdad, será necesario que $W_{(i)}$ sea menor que $W_{(s)}$, lo que permite girar más rápidamente los hombros en sentido de las agujas del reloj, que la cadera en sentido contrario.

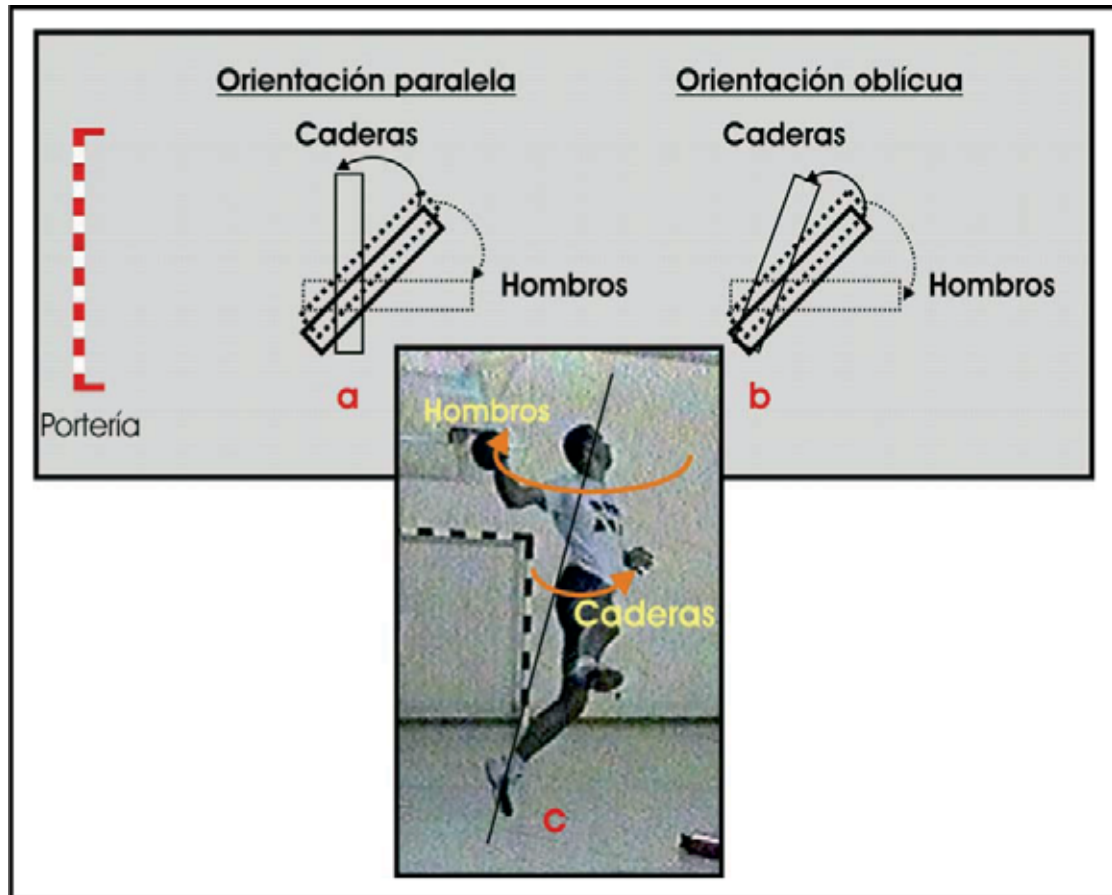


Figura 1.24.- Efectos compensatorios de los movimientos del jugador en vuelo, en la fase preparatoria (adaptado de Gutiérrez, Soto y Santos, 1992).

Se podría resumir diciendo que, mientras se giran los hombros para preparar el lanzamiento, los brazos deben mantenerse en una posición elevada próxima al eje de giro, mientras que las piernas deberían alejarse del eje de giro flexionando las rodillas y extendiendo la cadera (figura 1.24c). Cuando esto no ocurre, la cadera se encontrará con una orientación excesivamente paralela, con respecto a la portería, al comienzo de la secuencia temporal de la cadena cinética implicada en el lanzamiento (Gutiérrez, Soto y Santos, 1992).

Otra solución, muy utilizada en balonmano, al efecto que tiene la rotación del eje de hombros sobre el de caderas, es realizar la rotación de hombros antes, concretamente durante la fase de batida, cuando existen fuerzas y momentos de fuerzas externas al sistema. Esta rotación de hombros se hace mediante el desarrollo de un impulso angular a través del eje de hombros.

En la fase de lanzamiento propiamente dicha, al igual que ocurría en la fase anterior de preparación, el centro de gravedad continúa en fase aérea y comienza el desplazamiento hacia delante de los segmentos implicados en la cadena cinética del lanzamiento.

1.7.- Objetivos

Una vez que se han considerado todos los antecedentes expuestos, procedemos a la formulación de los objetivos que nos marcamos en este trabajo, y que pretendemos conseguir a la conclusión del mismo. Teniendo en cuenta que se trata de un trabajo de investigación orientado a obtener el título de Doctor, hemos considerado oportuno exponer unos objetivos generales y otros específicos.

Los Objetivos generales se basan en el desarrollo de una metodología que, además de permitir el registro de unos parámetros biomecánicos fiables nos permitirá transferir los resultados al ámbito del entrenamiento. Estos objetivos generales pueden resumirse en los siguientes:

- a) Desarrollar una metodología y unas técnicas instrumentales adecuadas para el análisis biomecánico de los factores de eficacia del lanzamiento en salto en balonmano.
- b) Establecer las estrategias oportunas que permitan transferir los resultados al entrenamiento y/o competición, evaluando su desarrollo mediante la comprobación científica.

- c) Desarrollar protocolos para la selección y estudio de los factores de eficacia relacionados con la técnica del lanzamiento en salto sin y con oposición de campo.
- d) Aplicar la metodología científica a partir de un diseño experimental y utilizando el método hipotético-deductivo.
- e) Obtener la experiencia adecuada en el uso de las técnicas de fotogrametría en tres dimensiones y en las técnicas de observación sistemática.

Expuestos los objetivos generales, pasaremos a desarrollar los objetivos específicos, teniendo en cuenta, las características de las técnicas de registro del propio gesto y la fundamentación utilizada para la exposición del problema que será tratado en esta investigación. Distinguimos los siguientes objetivos específicos:

- f) Analizar y valorar desde la perspectiva de la biomecánica deportiva y de la observación sistemática, las características del lanzamiento en salto a distancia en balonmano.
- g) Comprobar el efecto que produce la oposición defensiva sobre los factores biomecánicos y las modificaciones corporales segmentarias que se produzcan, las cuales determinan la eficacia del lanzamiento en salto a portería desde primera línea atacante.
- h) Comparar los valores de las distintas variables biomecánicas obtenidas en los lanzamientos sin y con oposición, así como constatar el grado de consistencia del gesto en una u otra situación.
- i) Deducir el comportamiento motor del jugador de balonmano en situación real, analizando la importancia de la variabilidad contextual, determinada por la presencia de un oponente, como factores interactuantes sobre las variables biomecánicas.
- j) Conocer las características de la cadena cinética del lanzamiento en salto a distancia en balonmano, así como el análisis comparado entre las dos situaciones expuestas (con oposición de campo y sin ella).

- k) Aportar datos para que entrenadores y especialistas en balonmano, deduzcan posibles transferencias al ámbito del entrenamiento deportivo.

CAPÍTULO II

Revisión bibliográfica

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En el presente capítulo se analiza y describe la documentación científica más relevante sobre todo aquello que está relacionado con nuestro objeto de estudio. Se expondrán los resúmenes y aspectos importantes de las investigaciones más significativas, con el fin de contextualizar el estudio del lanzamiento en salto en balonmano.

El objetivo que se pretende alcanzar con la revisión bibliográfica es obtener los conocimientos teóricos, metodológicos y sobre técnicas instrumentales más relevantes utilizadas en cualquier campo del conocimiento científico. Se trata, pues, de una tarea que hará operativo el problema de estudio, así como nos permitirá exponer una hipótesis de estudio antes de obtener nuestra evidencia empírica. Todo este proceso constituye una fase imprescindible y punto de partida de cualquier proceso de investigación científica.

2.1.- Perfil de la búsqueda

El perfil principal de búsqueda, que se ha tenido en cuenta, ha sido en función de la perspectiva principal de estudio y del gesto objeto de análisis en la presente tesis. La perspectiva principal es la *Biomecánica Deportiva* y el gesto, que también ha definido el perfil de la búsqueda, es el lanzamiento en balonmano, más concretamente, el *lanzamiento en salto a distancia*.

El lanzamiento en balonmano, tal y como se ha comentado en apartados anteriores, forma parte de una gran familia de movimientos llamados de mano alta -por encima del hombro- (Kreighbaum y Barthels, 1981), los cuales todos ellos son similares desde un punto de vista biomecánico. Según Atwater (1979), esta familia de movimientos es, después de la carrera, la más común en las disciplinas deportivas. Se caracteriza por ser llevada a cabo con una sola mano, por situarse ésta por encima de la línea de hombros y por la existencia de una flexión más o menos pronunciada del antebrazo. Como no son muy numerosos los estudios

específicos sobre el lanzamiento a portería en balonmano, por esta razón, para el perfil de búsqueda, ha sido necesario ampliar el campo de estudio a los lanzamientos de mano alta (por encima del hombro) que se dan en otras disciplinas (béisbol, jabalina, tenis, waterpolo, fútbol americano, etc.). Esto nos ayudará a determinar los puntos comunes y las especificidades de este tipo de patrón de lanzamientos. Las palabras clave o descriptores que se han utilizado en la búsqueda bibliográfica son: *biomechanics* (biomecánica), *biomechanics skills analysis* (análisis biomecánico de destrezas), *handball* (balonmano), *analysis technique* (análisis de la técnica), *overarm throw* (lanzamiento por encima del hombro), *vertical jump* (salto vertical), *jump shot* (lanzamiento en salto) y *jump throw* (lanzamiento en salto).

2.2.- Bases documentales y procedimientos de recuperación de la información

Una vez indicado el perfil de búsqueda y acotadas las palabras clave de la misma, la siguiente tarea ha sido introducirlas, en diferentes combinaciones, en las bases de datos informatizadas y en los motores de búsqueda existentes en Internet.

Las bases de datos son colecciones de información (revistas especializadas) disponibles en formato computarizado. Se han utilizado dos bases de datos principalmente para localizar la fuente de información: SportDiscus y Héraclès. A la primera se ha tenido acceso gracias a la Plataforma ProQuest de bases de datos del Servicio de Referencia e Información Bibliográfica de la Universidad de Granada, y a la segunda se ha tenido acceso de forma gratuita en Internet.

Los motores de búsqueda principales utilizados han sido Scholar.google y Altavista, los descriptores utilizados han sido los mismos que en el caso de la búsqueda en las bases de datos.

Además de estos dos procedimientos se ha utilizado una tercera vía documental que ha consistido en la revisión de las citas bibliográficas de los artículos y trabajos (tesis, libros, etc.) encontrados.

Para diversificar, ampliar o refinar las búsquedas se han combinado los descriptores, expuestos anteriormente, con ayuda de los operadores booleanos (en honor a George Boole): a) **OR**, se utiliza para recuperar registros en los que al menos uno de los términos esté presente. Cuántos más términos combinemos en una búsqueda, más registros se obtendrán, b) **AND**, se emplea para recuperar registros en los que ambos términos están presentes, restringe la búsqueda ya que ambos términos deben estar presentes en cada registro que se recupera, cuantos más términos combinemos, menos registros -aunque más específicos- se obtendrán, y c) **NOT**, para recuperar registros que contengan sólo uno de los términos presentes, ya que queremos que el otro quede excluido.

Una vez realizada la búsqueda de las referencias, se han seleccionado aquellas que, en función del grado de interés con respecto a lo planteado en nuestro trabajo, debían de ser localizadas y consultadas. Los centros o formas de acceso a la documentación a las cuales se recurrió fueron: a) La Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad de Granada y la Universidad Politécnica de Madrid, b) El Servicio de Referencia e Información Bibliográfica de la Universidad de Granada, a través de la suscripción a numerosas revistas científicas electrónicas, y c) Internet, donde se han localizado a texto completo numerosas referencias, ya sea porque estaban alojadas en páginas de libre acceso (grupos de investigación, webs personales, etc.) o por el mecanismo directo de ponernos en contacto vía e-mail con el autor/es de los artículos.

La búsqueda de referencias bibliográficas se realizó durante el año 2004, aunque la depuración y actualización de la búsqueda no se concluyó hasta enero y febrero de 2005.

2.3.- Ordenación y exploración de los trabajos

Toda la documentación bibliográfica que se ha obtenido tras la búsqueda de información se ha ordenado en dos partes: por un lado, aquellos trabajos relativos al estudio de la biomecánica de los lanzamientos de mano alta en general o de otras especialidades deportivas de mano alta, y por otro, los trabajos específicamente relacionados con la especialidad deportiva del balonmano. En todo caso, y respetando cada una de las partes en que se ha dividido este apartado, la presentación de los principales trabajos se realizará utilizando un orden cronológico de publicación en torno al tema.

El análisis biomecánico de un movimiento deportivo consiste en la descripción y/o explicación de las causas que provocan dicho movimiento. Éste puede ser descrito a través de parámetros *cinemáticos* (desplazamientos lineales y angulares de las articulaciones, las velocidades y aceleraciones correspondientes, etc.) y explicado a través de los parámetros *dinámicos* o *cinéticos*, es decir, las fuerzas y los momentos resultantes que permiten precisar el origen del movimiento, así como mediante diseños experimentales o técnicas de simulación. Dentro de la clasificación de los trabajos que se ha realizado en este apartado, todos o la mayoría de ellos también se pueden agrupar según se basen en análisis cinemáticos o dinámicos.

Los dos apartados siguientes se han organizado de la siguiente manera: primero se establecen los aspectos comunes, orientación y características generales de las investigaciones revisadas, intentando agrupar primero los aspectos relacionadas con los parámetros cinemáticos y después los relacionados con la cinética. Al final de cada apartado se exponen en orden cronológico algunas de las investigaciones

más relevantes, significando los aspectos principales.

2.3.1.- Investigaciones sobre los lanzamientos de mano alta

Las particularidades de los estudios en diferentes disciplinas basadas en el patrón de lanzamiento de mano alta, hay que tenerlas en cuenta a la hora de estudiar el lanzamiento en un deporte como es el balonmano. En la tabla 2.1. se muestra una selección de las publicaciones revisadas sobre lanzamientos en general.

La exposición de los aspectos comunes, orientación y características generales de las investigaciones revisadas, se ha organizado atendiendo a los parámetros biomecánicos estudiados, es decir, cinemáticos y dinámicos.

2.3.1.1.- INVESTIGACIONES RELACIONADAS CON LA CINEMÁTICA DEL GESTO

Los parámetros cinemáticos se ocupan de la descripción espacial y temporal del movimiento. En cuanto a la evolución general del movimiento de tronco y brazo ejecutor en los lanzamientos de mano alta, autores como Atwater (1979), Elliot et al. (1986a) y Fleisig et al. (1996a) lo describen de la siguiente forma:

Durante la fase de armado, los movimientos realizados sitúan al brazo, y por consiguiente, al objeto a lanzar por detrás del tronco y por encima de la línea de hombros. Para lograr esta posición, se observa una sucesión de movimientos segmentarios en piernas, luego en tronco y finalmente en el brazo lanzador. Las rotaciones de caderas y hombros son particularmente importantes durante esta fase. Una vez que el brazo está armado, los movimientos se invierten y el objeto es lanzado hacia delante.

Normalmente, mientras que un segmento está en rotación, el segmento mas distal tiende a mantener su posición. Esto permite a ciertos músculos agonistas de la articulación ser estirados de forma excéntrica. La rotación de las caderas seguida de la de los hombros tiene la función de colocar al tronco en la dirección pretendida. Cuando el tronco está rotando, el brazo lanzador está en abducción de más o menos 90°, el húmero posee una rotación neutra mientras que el antebrazo está flexionado aproximadamente 90°. Cuando la parte superior del tronco consigue su mayor velocidad angular, el húmero del brazo lanzador entra en rotación externa. En este instante, el brazo opuesto al brazo lanzador se sitúa delante de éste.

Tabla 2.1.- Selección en orden cronológico de las investigaciones revisadas más relevantes sobre los lanzamientos de mano alta en general y en diversas disciplinas deportivas.

<u>AUTOR</u>	<u>AÑO</u>	<u>NIVEL F. Impacto (2003)</u>	<u>TÉCNICAS DE REGISTRO</u>	<u>ESPECIALIDAD DEPORTIVA</u>	<u>ENFOQUE PRINCIPAL</u>
Toyoshima	(1974)	Avanzado -	Goniometría Célulasfoto.	General	Cinemático
Davis	(1977)	Avanzado 0.500	Cinemat.- 2D	Waterpolo	Cinemático
Atwater	(1979)	Avanzado -	Cinemat.- 2D	General-Béisbol	Cinemático
Jobe	(1984)	Avanzado 2.063	Electromiografía	Béisbol	Cinético
Vaughn	(1985)	Avanzado -	Cinemat.- 3D	Béisbol	Cinemático
Komi	(1985)	Avanzado 1.374	Cinemat.- 2D	Jabalina	Cinemático Cinético
Elliot	(1986a)	Avanzado 1.374	Cinemat.- 3D	Béisbol	Cinemático
Feltner	(1986)	Avanzado 1.374	Cinemat.- 3D	Béisbol	Cinemático
Elliot	(1988)	Avanzado 1.255	Cinemat.- 3D	Waterpolo	Cinemático
Best	(1993)	Avanzado 1.255	Cinemat.- 3D	Jabalina	Cinemático Cinético
Sakurai	(1993)	Avanzado 0.574	Cinemat.- 3D	Béisbol	Cinemático
Mero	(1994)	Avanzado 0.574	Cinemat.- 3D	Jabalina	Cinemático
Rash	(1995)	Avanzado 0.574	Cinemat.- 3D	Fútbol americano	Cinemático Cinético
Elliot	(1995)	Avanzado 0.574	Cinemat.- 3D	Tenis	Cinemático
Feltner	(1996)	Avanzado 0.574	Cinemat.- 3D	Waterpolo	Cinemático
Han	(1996)	Avanzado -	Cinemat.- 3D	Béisbol	Cinemático
Fleisig	(1996a)	Avanzado 2.404	Cinemat.- 3D	General	Cinemático
Bartlett	(1996)	Avanzado 0.574	Cinemat.- 3D	Jabalina	Cinemático
Barrentine	(1998)	Avanzado 0.574	Cinemat.- 3D	Béisbol	Cinemático Cinético
Escamilla	(1998)	Avanzado 0.574	Cinemat.- 3D	Béisbol	Cinemático
Fleisig	(1999)	Avanzado 2.005	Cinemat.- 3D	Béisbol	Cinemático Cinético
Matsuo	(2002)	Avanzado 0.574	Cinemat.- 3D	Béisbol	Cinemático

A partir de la posición de rotación externa máxima del húmero, mientras que el antebrazo queda en flexión, cuatro acciones van a desplazar el objeto hacia su posición de lanzamiento: a) la rotación hacia delante de los hombros, b) la aducción horizontal del *brazo*, c) la *extensión del antebrazo* y d) la *rotación interna del húmero* (Atwater, 1979; Elliot et al., 1986a; Fleisig et al., 1996a).

El movimiento de la mano está coordinado con la extensión del antebrazo para conseguir la mayor velocidad posible del móvil (Elliott et al., 1986a). Simultáneamente el tronco se flexiona y se inclina hacia el lado opuesto del brazo ejecutor.

Otros autores (Barrentine et al., 1998; Elliott et al., 1986a; Sakurai et al., 1993; Vaughn et al., 1985) describen más particularmente los movimientos del antebrazo, mano y dedos. En la fase de armado, el antebrazo está en posición de pronación/supinación neutra, mientras que la mano está en desviación radial. Después de que el brazo haya alcanzado su rotación externa máxima, la mano se flexiona para lanzar y sufre una importante desviación cubital. En el lanzamiento, la mano está, pues, ligeramente flexionada y en desviación cubital. Justo después de lanzar se observa una pequeña fase de supinación del antebrazo. Después, le sigue una fuerte pronación del antebrazo al igual que una fuerte desviación radial de la mano. Según Atwater (1979), la pronación tras el lanzamiento del móvil constituiría un método natural para decelerar el brazo.

El movimiento de los dedos es también importante. Por ejemplo, el último dedo en tocar el móvil puede variar en función del lanzador o de la velocidad del lanzamiento (Stevenson, 1985). Otro estudio parece reflejar independencia en el movimiento de los dedos con respecto a otros segmentos del brazo ejecutor (Hore et al., 1999). En este estudio, se han perturbado, de forma aleatoria, los movimientos de extensión del antebrazo y los de flexión de la mano al final de los lanzamientos. Se deduce de los resultados, que el movimiento de los dedos no resulta modificarse por esto.

Hore et al. (1995 y 1996), en otro estudio, relacionan el movimiento de los dedos con la precisión del gesto. Concluye que los lanzamientos imprecisos resultan de una mala iniciación de la flexión de los dedos y de una mala temporalización del lanzamiento del móvil.

La mayoría de los estudios sobre lanzamientos de mano alta consideran la velocidad del proyectil como el criterio de rendimiento predominante (Fradet, 2003). Hay algunas excepciones como es el caso del pase del quarterback (fútbol americano), en el cual se acepta pero se cuestiona esta afirmación. Así, por ejemplo, un estudio sobre béisbol en los Juegos Olímpicos de Atlanta (1996) establece que la velocidad de salida de la pelota al lanzar era el principal factor de rendimiento (Escamilla et al., 2001). En otras disciplinas, como el balonmano, el tiempo utilizado para efectuar el gesto (Delemarche, 1998) o la precisión del lanzamiento (Bayios y Boudolos,

1998; Párraga et al., 2001; Tillaar y Ettemaa, 2000, 2002, 2003a y 2003b) son igualmente percibidos como criterios condicionantes del rendimiento.

Si analizamos la evolución de los parámetros cinemáticos medidos en diferentes disciplinas de lanzamiento (waterpolo, béisbol, tenis, jabalina, etc.), podemos constatar que, aunque son movimientos similares (patrón de lanzamientos de mano alta), poseen particularidades. Los parámetros cinemáticos a los que nos referimos son: la velocidad del proyectil, los ángulos de las articulaciones que intervienen, y las velocidades lineales y angulares.

Las variaciones observadas, en cuanto a la velocidad de salida del proyectil, de una disciplina a otra son bastante importantes. Así en el caso del béisbol, las velocidades oscilan entre 33,2 y 38,4 m/s (Matsuo et al., 2001). Para el pase del quarterback en fútbol americano, la velocidad del balón es de 21 m/s (Fleisig et al., 1996b; Rash y Shapiro, 1995). En jabalina la velocidad está próxima a 28 m/s (Best et al., 1993; Mero y Komi, 1994). En waterpolo los balones lanzados tienen una velocidad que oscila entre 16,5 y 19,4 m/s (Davis y Blanksby, 1977; Feltner y Nelson, 1996). Como veremos posteriormente, en balonmano, en el caso de jugadoras, esta velocidad es de 17 m/s (Jöris et al., 1985). En cuanto a los valores extremos de los ángulos de las articulaciones que intervienen, las diferencias son bastante importantes de una disciplina a otra. De manera general, los estudios sobre béisbol son los que presentan mayores valores de rotación externa del hombro, así Escamilla et al. (2001) obtienen en su trabajo valores de 95°. En waterpolo, en el penalti, se puede constatar igualmente que el brazo lanzador posee una abducción mayor que en las otras disciplinas tales como el lanzamiento en béisbol o el pase del quarterback en fútbol americano (Feltner y Nelson, 1996). En la tabla 2.2. y 2.3. se exponen comparativamente estos datos.

Sobre las velocidades angulares, en general, el lanzamiento en béisbol presenta velocidades angulares más importantes que en las otras disciplinas de mano alta, tal y como se observa en la tabla 2.4.. Después del béisbol se sitúa el pase del quarterback en fútbol americano y seguidamente el penalti en waterpolo, el cual presenta valores más pequeños de velocidad angular. Hay algunas excepciones, en el pase del quarterback (Fleisig et al., 1996b; Rash, 1994; Rash y Shapiro, 1995), la velocidad angular de la abducción/aducción horizontal es de 14 rad/s superando a la del béisbol que se sitúa en 10.5 rad/s (Escamilla et al., 1998, 2001, 2002; Fleisig et al., 1996a, 1996b, 1999; Han et al., 1996; Sakurai et al., 1993; Sherwood et al., 1997; Stodden et al., 2001). La velocidad angular de rotación del hombro en el penalti en waterpolo se sitúa en 6.10 rad/s, siendo relativamente menor que en béisbol o que en el pase del quarterback (18.7 rad/s y 16.5 rad/s respectivamente).

En cuanto a los valores de velocidad lineal, los resultados se presentan en la tabla 2.5., donde se puede observar cómo evoluciona dicha velocidad de una articulación

a otra y de una especialidad a otra. Podemos afirmar que son numerosos los factores que explican las diferencias apreciadas en las investigaciones, tanto entre disciplinas deportivas diferentes como intradisciplinas. Las diferencias dentro de una misma disciplina se pueden explicar por la variabilidad de metodologías y protocolos empleados, las características de los aparatos de medida, los métodos de cálculo, y sobre todo, el diferente nivel de cualificación de los jugadores objeto de estudio (edad, nivel de práctica, aprendizaje técnico).

Tabla 2.2.- Valores extremos o máximos de diferentes ángulos del miembro superior en el curso de diversos lanzamientos de mano alta (extraído de diversos estudios).

Angulo (°)	Béisbol	Jabalina	Fútbol Americano	Tenis	Waterpolo	Balonmano
Abducción	-14	-	7	-	22	-
Abducción horizontal	-45	-	-1	-	-30	-
Flexión antebrazo	60	80	67	71	90	-
Rotación externa	-95	-	-74	-	-65	-35 a -45
Flexión de la mano	-41	-	-	-	-21	-
Desviación radial	15	-	-	-	-	-
Pronación/Supinación	17	-	-	-	-7	-

Tabla 2.3.- Valores extremos o máximos de diferentes ángulos del tronco y valores en el momento de la suelta en el curso de diversos lanzamientos de mano alta (extraído de diversos estudios).

Angulo (°)		Béisbol	Jabalina	Football US	Waterpolo	Balonmano
Flexión del tronco	Máx.	-	-	-	-	-
	Lanzar.	28<<37	-	25± 8	12 ± 9	21<<46
Rotación de caderas	Máx.	-63 ± 13	-	-	-	-
	Lanzar.	-1 ± 8	-	-	-	-
Inclinación lateral	Máx.	-	-	-	-	-
	Lanzar.	22<<34	-	-	41 ± 7	-
Rotación de hombros	Máx.	-75 ± 15	-	26± 5	-75 ± 12	-
	Lanzar.	21 ± 9	-	-	24 ± 10	-
Flexión de la rodilla	Máx.	46<<51	39 ± 11	15<<37	-	-
	Lanzar.	32<<48	28 ± 9	12<<14	-	-

Tabla 2.4.- Valores máximos de velocidad angular de diferentes ángulos del miembro superior y tronco (extraído de diversos estudios).

Velocidad angular (rad/s)	Béisbol	Jabalina	Football US	Waterpolo
Aducción horizontal	10.5	-	14	8.5
Extensión antebrazo	32	33.2	22.2	17.7
Rotación interna	106.4	-	52	34.7
Flexión de la mano	3.1	-	-	19.5
Rotación de caderas	10.6	-	8.7	-
Rotación de hombros	18.7	-	16.5	6.10
Flexión del tronco	6.8	-	-	2.8

Tabla 2.5.- Valores máximos de velocidad lineal (extraído de diversos estudios).

Velocidad lineal (m/s)	V _{CG}	V cadera	Vhombro	V codo	V muñeca	V móvil
Béisbol (Elliot et al., 1996a)	-	-	6.8	9.9	22.2	31.5
Béisbol (Matsuo et al., 2001)	-	2.3	-	-	-	-
Jabalina (Best et al., 1993)	7.44	1.08	4.4	8.12	25.4	-
Jabalina (Komi, 1985)	-	-	-	-	-	29.12
Waterpolo (Elliot y Armour, 1988)	-	-	3.7	7	12.6	17.5
Balonmano femenino (Jöris et al., 1985)	-	2.4	-	8.9	10.9	17.2
Balonmano (Tillaar y Ettemaa, 2000)	-	2.75	4.36	10.15	13.72	-

Las diferencias entre especialidades deportivas, de las clasificadas de mano alta, se pueden explicar por las exigencias técnicas del gesto y especialmente por, el tamaño, peso y forma del objeto móvil a lanzar.

En efecto, una jabalina, un balón de fútbol americano, un balón de waterpolo o un balón de balonmano no suponen una misma forma de presa. La posición de la mano en la presa del móvil es diferente en cada una de estas especialidades deportivas.

Además de la forma, su masa entraña profundas modificaciones en la técnica. Hay algunos estudios que han puesto en evidencia velocidades de salida decrecientes con el aumento de la masa del objeto a lanzar (Jöris et al., 1991; Neal et al., 1991; Tillaar y Ettemaa, 2002; Toyoshima et al., 1974). Así, para un mismo lanzador, la velocidad de salida puede oscilar entre 30.3 m/s, si la masa del móvil es de 60 g, a 17 m/s, si es de 500 g (Toyoshima et al., 1974). También se constata en los estudios, que lanzar un móvil ligero requiere más habilidad técnica que lanzar uno pesado, para lo cual se requiere más musculatura (Toyoshima et al., 1974; Neal et al., 1991). En su estudio, Toyoshima et al. (1974), constatan que un jugador de balonmano, bien entrenado, lanza la pelota ligera a más velocidad que un judoka, suponiéndole más fuerte al judoka. Y el judoka lanzaba la pelota pesada con más velocidad que el jugador de balonmano. Quizás, se le pueda cuestionar a este estudio el no haber definido un criterio objetivo para establecer por qué el judoka era más fuerte que el jugador de balonmano.

En resumen, aunque los estudios sobre las especialidades deportivas, basadas en el patrón de lanzamiento de mano alta, permiten observar un modelo general de lanzamiento, cada disciplina presenta particularidades.

2.3.1.2.- INVESTIGACIONES RELACIONADAS CON LA DINÁMICA DEL GESTO

A semejanza de la cinemática, existen numerosos estudios sobre la cinética de los lanzamientos de mano alta en general. Así destacamos los estudios del lanzamiento en béisbol (Escamilla et al., 2002; Fleisig et al., 1995, 1996a; Feltner y Dapena, 1986; Werner et al., 1993), el pase en fútbol americano (Fleisig et al., 1996b; Rash y Shapiro, 1995) y el penalti en waterpolo (Feltner y Taylor, 1997).

El cálculo de las fuerzas y momentos de fuerza aplicados en cada segmento es importante, pues, permite evaluar las diferentes presiones que se ejercen sobre las articulaciones durante el movimiento y llegar a conseguir detectar las relaciones con los eventuales traumatismos que se suelen padecer en la práctica deportiva.

Las fuerzas y los momentos de fuerza son el origen del movimiento observado y por lo tanto, responsables de la eficacia de éste. También su estudio permite el

calibrado y ajuste de los llamados métodos de simulación dinámica, los cuales simulan el movimiento gracias a la información que aporta el medir las fuerzas y los momentos. Desde un punto de vista teórico, el lanzamiento está basado en una transmisión del momento angular desde los segmentos proximales a los distales (Navarro, 1994).

Al comienzo del lanzamiento, las fuerzas y los momentos son bastante débiles (Feltner y Dapena, 1986; Feltner y Taylor, 1997; Fleisig et al., 1995). Al final de la fase de armado del brazo, el codo es desplazado hacia delante por un momento de aducción horizontal en el hombro. Después un momento de abducción vuelve a elevar el codo. Simultáneamente a estas rotaciones, el tronco está en fase de flexión y de inclinación medial. Estos movimientos del tronco tienen la función de favorecer los movimientos de abducción y aducción horizontal (Feltner y Dapena, 1986).

A los movimientos de aducción horizontal y abducción del brazo se añade un movimiento de rotación externa del húmero. Ahora bien, esta rotación externa interviene a pesar de un momento de rotación interna del húmero en el hombro (Feltner y Dapena, 1986; Rash y Shapiro, 1995; Fleisig et al., 1996a).

Las causas de esta rotación externa del húmero pueden explicarse de la siguiente forma: al comienzo de la fase de lanzamiento, los músculos de la parte anterior del hombro ejercen un momento de fuerza que provoca la aducción horizontal del brazo. Esto provoca la aceleración lineal del centro de masa del brazo que se acompaña de una fuerza anterior en el hombro. Esta fuerza ejerce, en contrapartida, un momento de fuerza en relación al centro de masa del brazo a lo largo de su eje longitudinal. Por este mecanismo indirecto, los músculos, al comienzo de la aducción horizontal del brazo, ayudan a la rotación externa del húmero y superan los efectos del momento de rotación interna del húmero (Feltner y Dapena, 1986; Fleisig et al., 1996a).

Seguidamente, el momento de rotación externa del húmero, debido a la fuerza anterior en el hombro, se vuelve más débil. Para preservar la rotación externa, los músculos responsables de la abducción del brazo se contraen. Un mecanismo similar al que origina la fuerza anterior se produce: el momento de abducción ejercido por los músculos provoca una fuerza superior en la articulación del hombro. De hecho, cuando el brazo en rotación externa pasa a la posición neutra, la fuerza superior acompaña a la fuerza anterior para provocar la rotación externa del húmero.

Antes de que la rotación del húmero sea máxima, el antebrazo comienza a extenderse. El valor del momento de fuerza de extensión del antebrazo es bastante pequeño, lo que sugiere, según ciertos autores, que la extensión del antebrazo no sea debida en primer lugar a la acción del tríceps (Feltner y Dapena, 1986; Rash y Shapiro, 1995; Werner et al. 1993) sino a la fuerza ejercida sobre el antebrazo

por el brazo y codo. Tal fuerza podría estar asociada a una aceleración centrípeta de la articulación del codo cuando el brazo realiza su abducción y su aducción horizontal alrededor del hombro. Esta fuerza podría también estar ligada a una aceleración lineal del tronco del lado del brazo no tirador (Feltner y Dapena, 1986; Fleisig et al., 1996a; Werner et al. 1993).

Finalmente, el movimiento de rotación externa del húmero se detiene. Esto puede ser debido al incremento del momento de rotación interna pero igualmente a la disminución del momento de rotación externa provocado por las fuerzas anteriores y superiores cuando el antebrazo se extiende (Feltner y Dapena, 1986).

Según Feltner y Dapena (1986), este movimiento de rotación interna del húmero combinado con la ralentización de la extensión del antebrazo puede prevenir la lesión de codo. En efecto, la extensión del antebrazo puede ser un buen medio de aumentar la velocidad de la pelota. Sin embargo, si el antebrazo conseguía una velocidad máxima de extensión justo antes de su extensión máxima, esto podría ser la causa de la lesión traumática sobre la parte posterior del codo. La interrupción de la extensión del antebrazo es sin duda provocada por el momento de flexión del antebrazo ejercido justo antes de la suelta de la pelota.

En cuanto a lo que concierne a la mano, la fuerza ejercida por el antebrazo sobre la mano provocaría su extensión prematura. Para luchar contra esta extensión, momentos de flexión aparecen en la muñeca. Esto permite entonces flexionar la mano y transmitir velocidad a la pelota (Feltner y Taylor, 1997; Fleisig et al., 1996a).

En función de la técnica del lanzamiento, el momento de abducción puede ser ligeramente diferente. Así, en los estudios sobre el penalti en waterpolo, Feltner y Taylor (1997) han puesto en evidencia dos técnicas de lanzamiento ligeramente distintas. La primera corresponde a un lanzamiento donde la aducción horizontal es predominante para proporcionar velocidad a la pelota, mientras que la segunda presenta una rotación interna del húmero. Nos demuestran en su estudio, que en los sujetos que producen una velocidad de rotación interna importante, el momento cambia de la abducción a la aducción justo antes de la suelta.

2.3.1.3.- EXPOSICIÓN CRONOLÓGICA DE LAS PUBLICACIONES MÁS RELEVANTES

Entre las investigaciones existentes en la literatura especializada sobre el lanzamiento en diferentes disciplinas de mano alta, exponemos en orden cronológico las siguientes:

Toyoshima S.; Hoshikawa T.; Miyashita M. (1974) Contribution of the body parts to throwing performance. Biomechanics IV, Champaign, IL: *Human Kinetics*, 169-174

Es un amplio trabajo sobre los lanzamientos en general. Analiza la contribución de las distintas partes del cuerpo y la influencia que puede tener en el lanzamiento el peso de la pelota. Estudia en cada sujeto cinco tipos de lanzamiento por encima de la cabeza: a) con un paso, b) sin paso, c) con el tronco inferior inmóvil, d) con el tronco superior inmóvil y e) con el brazo inmovilizado.

Utiliza fototransistores para medir la velocidad de la bola, electrogoniometría para el cálculo de los ángulos del miembro superior y electromiografía para medir la intervención muscular de todo el cuerpo. Entre las conclusiones destacamos:

- La velocidad de extensión del codo es mayor cuando participan un mayor número de segmentos.
- La contribución de las partes del cuerpo es independiente de la masa del balón.
- La rotación del tronco aumenta la velocidad del balón.

Atwater, A. (1979) Biomechanics of the overarm throwing movements and of throwings injuries. *Exercise and Sports Sciences Reviews*, 7, 43-85.

En el presente estudio se realiza una exhaustiva revisión de la literatura sobre los lanzamientos en general, aunque se dedica especial importancia al béisbol. Es uno de los trabajos más citados en la bibliografía.

Se destacan los siguientes aspectos:

- La destreza más común después de la carrera es el lanzamiento.
- En los lanzamientos se produce una secuencia de movimientos, de manera que primero se aceleran los segmentos más alejados del extremo o proximales y después los cercanos o distales.
- En la mayoría de los lanzamientos, en el instante del lanzamiento, el brazo forma un ángulo de 90° con el tronco. Sólo se diferencian en la inclinación del tronco. En los lanzamientos laterales el tronco se inclina hacia el mismo lado desde donde se lanza, y en los efectuados por encima de la cabeza, el tronco se inclina al lado contrario.
- En los instantes finales del lanzamiento no existe aducción horizontal.

Feltner, M.E. y Dapena, J. (1986)Dynamics of the shoulder and elbows joints of the throwing arm during a baseball pitch. *International Journal of Sport Biomechanics*, 2, 235-259

Estos autores realizan un completo análisis de las fuerzas y momentos aplicados en el miembro superior. Utilizan un modelo de barras en tres dimensiones (3D) del miembro superior y realizan un análisis cinético inverso, es decir, a partir del análisis del movimiento mediante cinematografía 3D plantean las ecuaciones de movimiento e introducen como datos las variables cinemáticas, posteriormente se calculan las fuerzas y momentos aplicados en las articulaciones.

Como resultados obtienen que en la primera fase del lanzamiento, se produce una rotación externa del brazo y un momento muscular interno, lo que justifica el preestiramiento de los rotadores internos del brazo. Una vez alcanzada la máxima flexión del codo comienza la rotación interna del brazo. El codo presenta una elevada velocidad de extensión.

Elliott, B. y Armour, J. (1988)The penalty throw in water polo: a cinematographic analysis. *Journal of Sport Sciences*, 6, 103-114

En esta investigación se realiza una descripción del lanzamiento en waterpolo, comparando hombres y mujeres, utilizando la cinematografía tridimensional.

Se concluye que en el lanzamiento en waterpolo se produce la sumatoria de las velocidades desde el tronco al brazo y, por último, desde el antebrazo a la mano. Es decir, que el patrón de lanzamiento es el mismo que el del resto de disciplinas deportivas de mano alta. El hombro alcanzó su máxima velocidad lineal de 3.7 m/s a 0.06 s antes del lanzamiento, después el codo alcanzó su máximo de 7 m/s a 0.04 s, seguidamente la muñeca llegó a su máximo de 12.6 m/s y finalmente el extremo de la mano alcanzó 17.9 m/s.

Sakurai, S.; Ikegami, Y.; Okamoto, A.; Yabe, K.; Toyoshima, S. (1993)A three-dimensional cinematographic analysis of upper limb movement during fastball and curveball baseball pitches. *Journal of Applied Biomechanics*, 9, 47-65.

Es un estudio cinemático del movimiento realizado por el miembro superior durante un lanzamiento en béisbol, mediante cinematografía 3D. Se miden los grados de movimiento de las articulaciones del brazo, antebrazo y mano. Se sirven de unos marcadores que colocan en los sujetos. Los sujetos realizan dos técnicas de

lanzamiento de la pelota (la técnica "fastball" o bola rápida y la técnica "curveball" o bola curva).

Como conclusión, se establece que en ambas técnicas existe un movimiento de aducción horizontal del brazo producido durante la etapa de aceleración.

Rash, G.S. y Shapiro, R. (1995)A three-dimensional dynamic analysis of the quarterback's throwing motion in American football. *Journal of Applied Biomechanics*, 11, 443-459

Se analizan los pases de doce quarterbacks de fútbol americano universitario mediante cinematografía 3D. La secuencia de movimientos en el hombro era: primero abducción, luego rotación externa, rotación interna y finalmente aducción, todo esto justo antes de la suelta. Se encontraron grandes desviaciones mediales del codo en la fase de aceleración. Sin embargo, en muchos casos los quarterbacks demostraron grandes desviaciones laterales del codo. En esta investigación se describen éste y, otros resultados cinéticos y cinemáticos observados durante el pase en fútbol americano.

Fleisig, G.S.; Barrentine, S.W.; Escamilla, R.F.; Andrews, J.R. (1996a)Biomechanics of overhand throwing with implications for injuries. *Sports medicine*, 21(6), 421-437

Los autores se plantean que un mecanismo adecuado de lanzamiento hace que el jugador o deportista consiga altas cotas de rendimiento y una baja probabilidad de lesión. Se basan en que todas las disciplinas de mano alta presentan numerosas similitudes, todas ellas utilizan una misma cadena cinética para generar y transferir energía desde los segmentos corporales más grandes a los más pequeños, que son los que más tendencia tienen de lesionarse. Esta cadena cinética incluye la siguiente sucesión de acciones: un paso adelante, rotación de la pelvis, rotación del tronco, extensión del codo, rotación interna del hombro y flexión de la muñeca. Es muy característica la rotación externa del hombro, que puede llegar a alcanzar valores de 180°, esta rotación externa del hombro es en verdad una combinación de rotación glenohumeral, una hiperextensión del tronco y una acción escapulotorácica.

Cerca del momento de máxima rotación externa del hombro (ER_{máx}), la musculatura del codo y hombro se contrae excéntricamente para preparar la rotación interna. En ER_{máx}, tanto codo como hombro son muy susceptibles de lesión. Una vez que se produce la pérdida de contacto con el balón, bastante energía e inercia han sido transferidos al balón y al brazo lanzador. Después de la

suelta, la cadena cinética se utiliza para decelerar el movimiento rápido del brazo. Los músculos del hombro y codo producen fuerzas compresivas para resistir las fuerzas distractivas de la articulación. Ambas articulaciones son susceptibles de lesión durante la deceleración del movimiento.

Los autores describen que, cualquiera que sea la disciplina deportiva, se pueden distinguir cuatro fases en los lanzamiento de mano alta: la *fase de impulso* (permite colocar al cuerpo en una posición favorable para el lanzamiento), la de *armado del brazo* (sitúa el brazo atrás del lanzador), la de *lanzamiento* propiamente dicha (permite proyectar el objeto-móvil delante del lanzador) y finalmente la *fase de desaceleración del brazo* (recoloca al brazo en una posición de reposo).

Estas fases, a veces subdivididas de otras maneras, se ilustran en la figura 2.1. por un lanzador en béisbol.

Los *ángulos articulares* que se estudian en este tipo de movimientos (figura 2.2.) son: para el brazo, los de abducción/aducción, flexión/extensión horizontal, y rotación interna/externa del húmero; para el antebrazo, los ángulos de flexo/extensión y los de pronación/supinación; y para la mano, se estudian los de desviación radial/desviación cubital y flexión/extensión. Sobre el tronco se tiene en cuenta, la inclinación del tronco (plano frontal), la flexión del tronco (plano sagital), la rotación de hombros y caderas, etc.

Escamilla, R.F.; Fleisig, G.S.; Barrentine, S.W.; Zheng, N.; Andrews, J.R. (1998) Kinematic comparison of throwing different types of baseball pitching. *Journal of Applied Biomechanics*, 14, 1-23

El propósito de este estudio era establecer y comparar los parámetros cinemáticos entre cuatro grupos de lanzadores universitarios de béisbol, que realizaban cuatro técnicas de lanzamiento diferentes: bola rápida (FA), bola alta (CH), bola curva (CU), y bola deslizante (SL). Se compararon veintiséis parámetros cinemáticos en el momento del contacto del pie, durante las fases de lanzamiento y aceleración del brazo, y en el momento de la pérdida de contacto de la pelota con el brazo lanzador. Aproximadamente el 60% de estos parámetros mostraron diferencias significativas entre las cuatro técnicas de lanzamiento.

El mayor número de diferencias (14 de 26) ocurrió entre el FA y CH, mientras el menor número (2 de 26) ocurrió entre el FA y SL. El grupo que realizaba la técnica de CH tenía la rodilla y codo más en flexión en el momento del contacto del pie con el suelo y la rodilla y el codo menos flexionados en el momento de la suelta de la pelota. Durante las fases de lanzamiento y aceleración del brazo, el hombro, codo, y tronco desarrollan velocidades angulares generalmente más grandes en el FA y SL, y más



Figura 2.1.- Fases del lanzamiento en béisbol (adaptado de Fleisig et al., 1996a).

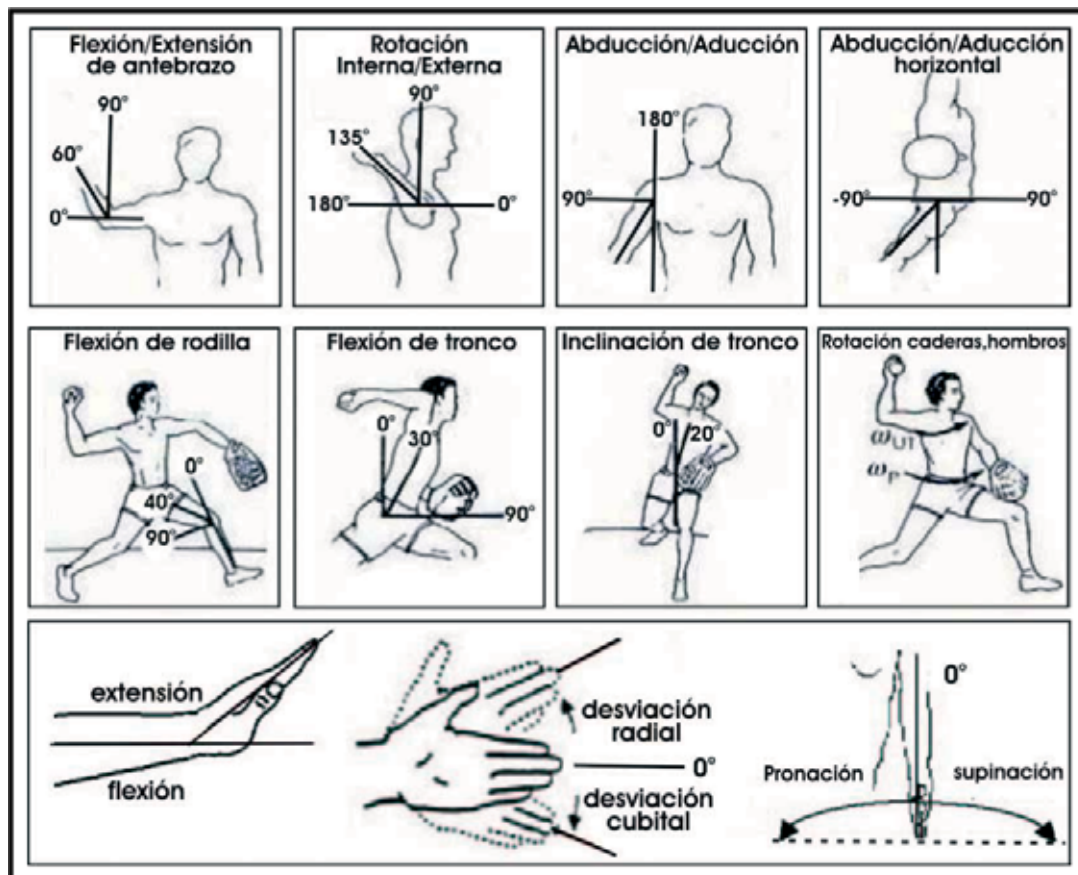


Figura 2.2.- Principales ángulos estudiados en los lanzamientos de mano alta (adaptado de Fleisig et al., 1996a).

pequeñas en el grupo de CH. En el momento de la suelta de la pelota el grupo de CH tenía el tronco más derecho y el hombro con una gran aducción horizontal, mientras el grupo de CU tenía la inclinación del tronco más lateral. Las diferencias en los parámetros cinemáticos pueden ayudar a la elección de la mejor técnica de lanzamiento en cada situación y también para cada jugador en función de sus características.

Matsuo, T.; Escamilla, R.F.; Fleisig, G.S.; Barrentine, S.W.; Andrews, J.R. (2001) Comparison of kinematic and temporal parameters between different pitch velocity groups. *Journal of Applied Biomechanics*, 17(1), 1-13

En este estudio se investigaron las diferencias en los parámetros cinemáticos y temporales entre dos grupos de lanzadores de béisbol, agrupados en dos grupos según la velocidad de lanzamiento de la pelota.

Los datos se obtuvieron de 127 universitarios y profesionales del béisbol. Los dos grupos fueron, por un lado los que lanzaron a más de 38.0 m/s (grupo alto, n=29), y por otro, los que lanzaron a menos de 34.2 m/s (grupo bajo, n=23). Se analizaron doce parámetros cinemáticos y 9 temporales. El movimiento de rodilla también fue investigado. La máxima rotación externa del hombro, la inclinación del tronco y la velocidad angular de extensión de la rodilla, en el momento de la suelta de la pelota, fueron significativamente mayores en el grupo de velocidad alta. La velocidad angular de flexión de la rodilla era mayor en el grupo de velocidad baja. El 70% del grupo de velocidad alta mostraron una extensión de la rodilla momentos antes de la suelta de la pelota, considerando que el grupo de velocidad baja mostró una variedad de modelos de movimiento de rodilla que involucran menos extensión de la rodilla y más flexión de la rodilla. La mayor rotación externa del hombro, en el grupo de velocidad alta, produjo un incremento de la amplitud del movimiento durante la fase de aceleración.

2.3.2.- Investigaciones sobre los lanzamientos en balonmano

A continuación, nos referiremos a las particularidades de los estudios específicos del lanzamiento en balonmano, dejando a un lado los estudios sobre otras disciplinas basadas en el patrón de lanzamiento de mano alta. En la tabla 2.6. se muestra una selección de las publicaciones revisadas.

Las investigaciones llevadas a cabo sobre el lanzamiento a portería en balonmano, no han sido muy numerosas si las comparamos con las correspondientes en otras

disciplinas de lanzamiento de mano alta, como por ejemplo el béisbol, del cual se han realizado muchos y completos estudios.

Con el fin de organizar y clasificar de alguna forma la revisión de la literatura, agruparemos las investigaciones atendiendo a dos enfoques principalmente: estudios cinemáticos y cinéticos.

En el ámbito de estudio del balonmano, las investigaciones de carácter cinemático engloban todos aquellos trabajos que describen el movimiento mediante una serie de parámetros cinemáticos, generalmente utilizan la fotogrametría como técnica de registro de la medida. Según los parámetros que evalúen experimentalmente, las podemos clasificar en investigaciones sobre: a) lanzamientos de velocidad, b) análisis temporal, c) lanzamientos de precisión y d) estudios generales de técnica.

2.3.2.1.- ESTUDIOS RELACIONADOS CON LOS LANZAMIENTOS DE VELOCIDAD

En laboratorio, la velocidad de salida del balón se puede evaluar con la ayuda de un radar (Filliard, 1989; Mikkelsen et Olesen, 1976; Pokrajac, 1980), con la ayuda de la cinematografía (Delemarche, 1982 y 1988; Filliard, 1985; Jöris et al., 1985; Párraga, 2001; Tillaar y Ettemaa, 2000, 2003a y 2003b), a través de células fotoeléctricas (Eliasz, 1996), con plataformas de fuerza fijas sobre un muro (Kastner et al., 1978) o bien con la ayuda de un láser (Bayios y Boudolos, 1998 y Bayios et al., 2001).

Tabla 2.6.- Selección en orden cronológico de algunas de las investigaciones revisadas más relevantes sobre los lanzamientos en balonmano.

AUTOR	AÑO	NIVEL F. Impacto (2003)	MÉTODO	ENFOQUE PRINCIPAL
Vizcaíno	(1978)	Avanzado -	Cinemat.- 2D	Cinemático
Pokrajac	(1980)	Inter.medio -	Cinemat.- 2D	Cinemático
Jöris	(1985)	Avanzado 2.005	Cinemat.- 2D	Cinemático Cinético
Yamamoto	(1987)	Avanzado -	Cinemat.- 3D	Cinemático
Kotzamanidis	(1987)	Avanzado -	Cinemat.- 3D	Cinemático Cinético
Filliard	(1989)	Avanzado -	Radar	Cinemático
Fleck	(1992)	Avanzado 0.574	Cinemat.- 3D	Cinemático
Barata	(1992)	Avanzado -	Láser	Cinemático
Eliasz	(1996b)	Avanzado -	Células fotoeléctricas	Cinemático
Tuma	(1997)	Avanzado -	Cinemat.- 3D	Cinemático
Bayios	(1998)	Avanzado -	Láser	Cinemático
Wit	(1998)	Avanzado -	Cinemat.- 3D	Cinemático
Tillaar	(2000)	Avanzado -	Cinemat.- 3D	Cinemático
Párraga	(2001)	Avanzado -	Cinemat.- 2D	Cinemático
Bayios	(2001)	Avanzado 0.500	Dinamómetro- Láser	Cinemático Cinético
Bayios	(2002)	Avanzado -	Cinemat.- 3D	Cinemático
Sibila	(2003)	Avanzado -	Cinemat.- 3D	Cinemático
Tillaar	(2003a)	Avanzado 0,295	Cinemat.- 3D	Cinemático
Tillaar	(2003b)	Avanzado 0,295	Cinemat.- 3D	Cinemático
Fradet	(2004)	Avanzado 1.255	Cinemat.- 3D	Cinemático

Se puede afirmar que los lanzamientos que presentan las velocidades de salida del balón más elevadas, son los efectuados en apoyo con carrera previa, luego los lanzamientos en apoyo sin carrera previa y finalmente los ejecutados en salto (Bayios y Boudolos, 1998; Eliaz, 1996; Kotzamanidis et al., 1987; Pokrajac, 1980).

Para el lanzamiento en apoyo con carrera previa, el estudio de Bayios y Boudolos (1998) presenta velocidades que oscilan entre 26.27 m/s, en jugadores de primera división griega, y 18.90 en estudiantes. Estos valores son más elevados que los obtenidos por Mikkelsen y Olesen (1976) que son del orden de 23.11 m/s para jugadores del equipo nacional de Dinamarca.

En los lanzamientos en apoyo sin carrera previa, se han obtenido valores del orden de 23.51 m/s para jugadores de primera división griega (Bayios y Boudolos, 1998), 21.22 m/s para jugadores del equipo nacional de Dinamarca (Mikkelsen y Olesen, 1976), valores comprendidos entre 18.10 y 21.23 m/s para los jugadores de segunda división noruega (Tillaar et Ettemaa, 2000) y finalmente velocidades del orden de 16.85 m/s para estudiantes (Bayios y Boudolos, 1998).

La diferencia evaluada es del 9% (Mikkelsen y Olesen, 1976), entre el lanzamiento en apoyo con carrera previa y sin carrera previa, esto se explica por la velocidad suplementaria obtenida en la carrera previa (Eliaz, 1996).

La velocidad de salida del balón depende, pues, entre otros factores, del tipo de lanzamiento utilizado, como lo confirman los estudios de Barata (1992) y Hoff y Almasbakk (1996); Kastner et al. (1978); Kotzamanidis et al., (1986); Mikkelsen y Olesen (1976); Pokrajac (1980), en los que se analiza la cadena cinética involucrada en el lanzamiento, comprobando que la velocidad de salida del balón es diferente en función del tipo de lanzamiento utilizado, en apoyo sin carrera previa, en apoyo con carrera previa, en salto eminentemente vertical y en salto eminentemente horizontal.

En la mayoría de los estudios se utilizaron técnicas cinematográficas, mediante el empleo de cámaras de alta velocidad. En ellos se constata una diferencia de un 7% en la velocidad del balón a favor de los lanzamientos en apoyo con carrera previa respecto al lanzamiento en apoyo sin carrera previa y un 9% respecto al lanzamiento en salto. En estos estudios se relacionan estas diferencias en la velocidad del balón, por las diferencias existentes en la fuerza máxima estática de la mano ejecutora (tabla 2.7).

Hay que resaltar la diferencia de velocidad a favor de los lanzamientos realizados en salto con desplazamiento eminentemente horizontal respecto a los realizados con salto vertical en los estudios de Kotzamanidis et al. (1987).

Según Goluch (1982) la velocidad de salida del balón en el lanzamiento en salto en balonmano depende, esencialmente, de los siguientes factores:

- a) Del ángulo que forman mano-balón durante el lanzamiento respecto a la línea de dirección del lanzamiento, aumentándose la velocidad de balón cuanto más alta se encuentre la mano ejecutora sobre el hombro, aunque existe por este motivo, una disminución de la precisión.
- b) De la Fuerza de Impulso de Aceleración en la componente horizontal, incrementándose la velocidad del balón cuanto mayor sea la fuerza de Impulso de Aceleración horizontal.
- c) Del ángulo del tronco con la vertical (del paso de extensión a flexión – plano sagital), aumentándose la velocidad con la mayor actuación del tronco, incrementándose el nivel de precisión por tal motivo. Aspecto que también resaltan Fleck et al. (1992).

Según este mismo autor, en los lanzamientos en salto vertical, la velocidad de salida del balón tiene dependencia, aunque muy poca, de la velocidad de carrera. Es decir, que a mayor velocidad en la carrera previa habrá un incremento (aunque en pequeña medida) de la velocidad del balón.

Tabla 2.7.- Valores de velocidad de salida del balón en distintos tipos de lanzamientos, según diferentes estudios (adaptado de Párraga, 1999).

Jugadores	Autor	En apoyo (sin carrera previa)	En apoyo (con carrera previa)	En salto
Polacos	Prokrajac (1980)	19.8 m/s	23.19 m/s	18.8 m/s
Austriacos		27.7 m/s	19.4-22.2 m/s	18.05- 25 m/s
Rumanos		23.3 m/s	25 m/s	-
Israelitas		21.2 m/s	22.02 m/s	21.13 m/s
Noruegos	Hoff (1996)	19.9 a 23.3 m/s	23.1 a 27.0 m/s	-
Tras un enteno con press de banca		18.5 a 21.1 m/s	22.6 a 24.6 m/s	-
23 jugadores	Barata (1992)	20.0 m/s	22.1 m/s	-
11 jugadores (EE.UU)	Fleck et al. (1992)	-	28.1 m/s	26.3 m/s
Jugadores Yugoslavos, Bulgaros, Rumanos Turcos	Kotzamanidis et al. (1987)	24.20 m/s	24.75 m/s	23.44 m/s (Salto Vertical) 25 m/s (Salto Horizontal)

Pokrajac (1980) lleva a cabo un análisis del tiempo empleado por el balón para llegar a portería, dependiendo éste de la velocidad del balón y de la distancia a la que se encuentre de ella en ese momento, oscilando los datos en valores de 0.32 s y 0.51 s en lanzamientos a 9 y 10 metros de distancia de la portería respectivamente (tabla 2.8).

Filliard (1989) valora la utilización del Radar de funcionamiento por efecto Doppler en la obtención de medidas de velocidad del balón en Balonmano. Este aparato es capaz de medir la velocidad de objetos móviles en una situación deportiva, con la utilización por medio de un radar de manejo simple y fácil, que permite calcular las velocidades del balón durante el transcurso de un partido obteniendo datos directos de exposición real del juego (la señal se registra por osciloscopio y es leída directamente en el aparato), sin necesidad de utilizar medidas en laboratorio o fuera del contexto real del juego.

Pokrajac (1980) utilizando este mismo instrumento de medida realiza otros estudios sobre lanzamientos en salto, que revelan una velocidad aproximada de salida del balón de 21.13 m/s, 18.80 m/s y entre 18.05 y 25.00 m/s para los equipos daneses, polacos y australianos respectivamente. Bretagne (1980) por el mismo procedimiento, obtiene resultados de entre aproximadamente 17.50 a 25.55 m/s para los lanzamientos realizados en apoyo y de entre 18.61 a 26.38 m/s en lanzamientos realizados en salto.

Jöris et al. (1985) consideran que la velocidad de salida del balón es de 17.2 m/s en un estudio realizado con 56 jugadoras de balonmano, siendo éste uno de los pocos estudios encontrados realizados con jugadoras de Balonmano.

2.3.2.2.- ESTUDIOS RELACIONADOS CON EL ANÁLISIS TEMPORAL DEL LANZAMIENTO

No existen muchos estudios que se encarguen directamente de determinar la duración total del gesto, sobretodo por la problemática de determinar cuando comienza exactamente. Resulta difícil comparar la duración del gesto en los diversos estudios cuando las fases analizadas no son siempre definidas de la misma forma.

Tabla 2.8.- Velocidades y duración del vuelo del balón en lanzamientos a portería en balonmano desde diferentes distancias, según los estudios de Pokrajac (1980).

Distancia (m)	Velocidad (m/s)	Tiempo (s)
10	27.77 m/s	0.36 s
	23.61 m/s	0.42 s
	19.44 m/s	0.51 s
9	27.77 m/s	0.32 s
	23.61 m/s	0.38 s
	19.44 m/s	0.46 s

Autores como Kastner et al. (1978) consideraron que el inicio del lanzamiento comenzaba desde que se percibía un movimiento del jugador. Este movimiento era determinado por la reacción del suelo obtenida con la ayuda de una plataforma de fuerza. Para estos autores los jugadores comenzaban el lanzamiento casi parados, ponen en evidencia una duración total del gesto igual a 1.114 s para debutantes y 1.085 s para sujetos entrenados. Estos autores concluyen que existe una duración del gesto similar cualquiera que sea el nivel de los sujetos.

Delemarche (1988), considera que el inicio del movimiento se efectúa en el instante en que la pelota comienza a desplazarse. En su trabajo presenta resultados del orden de 0.400 s en sujetos entrenados. La duración media del armado en su estudio es de 0.260 ± 0.015 s. La duración del lanzamiento propiamente dicho, es decir, la duración desde el final del armado hasta la suelta del balón, es de 0.140 ± 0.016 s. En el protocolo de su investigación los sujetos parten de una posición fija y poseen ya el balón en la mano. Jöris et al. (1985), sin embargo, presentan valores superiores del orden de 0.31 ± 0.06 s. Para explicar estas diferencias, se puede precisar que los sujetos de Delemarche (1988) eran hombres mientras que los de Jöris et al. (1985) eran mujeres. La diferencia de sexo implica también que los balones no eran de las mismas dimensiones ni tenían la misma masa.

Rouard y Carré (1987) realizan un estudio del lanzamiento en salto vertical en Balonmano con seis sujetos masculinos y seis femeninos, basado en los estudios de Mikkelsen y Olesen (1976). En este estudio se determinan las velocidades máximas del balón, la precisión y los distintos tiempos de las fases del lanzamiento. Utilizan cámaras del alta velocidad y una plataforma dinamométrica en la zona de batida. Los datos se exponen en la tabla 2.9.

2.3.2.3.- ESTUDIOS RELACIONADOS CON LOS LANZAMIENTOS DE PRECISIÓN

La mayoría de los estudios encontrados relacionados con la precisión del lanzamiento a portería en Balonmano utilizan blancos estáticos (Pauwels, 1976; Jöris et

Tabla 2.9. - Análisis de diferentes variables en el lanzamiento en salto (Rouard y Carré, 1987).

Características generales	<u>Sujetos masculinos</u>			<u>Sujetos femeninos</u>		
	1	2	3	1	2	3
Tiempos de impulsión (s)	0.177	0.182	0.170	0.156	0.158	0.163
Tiempos de vuelo (s)	0.676	0.780	0.700	0.676	0.650	0.730
Altura del salto (cm)	58	58	62	47	46	46
Profundidad del salto (cm)	210	205	220	160	165	190
Amplitud de brazos (cm ²)	159	157	16	13	135	138

al. 1985; Rouard y Carré, 1987; Carreras, 1992; Pokrajac, 1980; Tillaar y Ettemaa, 2003a; Bayios y Boudolos, 1998). Párraga et al. (2001), sin embargo, realizan un estudio sobre la precisión en la localización del balón en la portería, pero utilizando un blanco variable (en tamaño, forma, localización, etc.). Tillaar y Ettemaa (2003a) evalúan la precisión del lanzamiento con la ayuda de una cámara de vídeo dirigida sobre una zona a alcanzar (blanco). Bayios et al. (1998) idearon un sistema específico compuesto de paneles, este sistema permitía medir por medio de detectores eléctricos, el lugar de impacto de la pelota en la portería.

Siguiendo a Goluch (1982), la precisión depende de la estabilidad corporal, de la superficie de contacto y de la coordinación neuromuscular. La distancia del lanzamiento también tendrá influencia en la precisión del lanzamiento, ya que a mayor distancia a recorrer por el balón menor precisión en la localización, pues, las variaciones que se producen en el ángulo de salida del balón determinan niveles de error superiores provocadas por la mayor trayectoria a recorrer por el balón. La precisión depende del ángulo del codo (brazo-antebrazo), aumentándose ésta cuando mayor es el ángulo, existiendo una correlación negativa con respecto a la velocidad, aunque de manera muy baja, que está provocada por estar el balón más atrás y tardar más tiempo en la realización del lanzamiento, pero del mismo modo hay más tiempo para calcular la precisión.

Diferentes trabajos (Mikkelsen y Olesen, 1976; Párraga et al., 2001; Tillaar y Ettemaa, 2000, 2003a y 2003b) han puesto en evidencia resultados interesantes, en cuanto a la relación velocidad/precisión de los lanzamientos. Según estos trabajos, la velocidad del balón puede ser modificada por instrucciones dadas previamente al lanzamiento (exigencia de precisión, de velocidad o de los dos aspectos), pero no se modifica la precisión dando esas mismas instrucciones. Los autores sugieren que, a un nivel elevado de práctica, los jugadores automatizan la realización de su lanzamiento de tal forma que la precisión no varía en función de la instrucción. La velocidad de la pelota sería la única variable que disminuye cuando se le exige a los lanzadores una gran precisión en el lanzamiento.

2.3.2.4.- ESTUDIOS GENERALES SOBRE LA TÉCNICA DEL LANZAMIENTO

El análisis y la comparación entre diferentes tipos de lanzamientos en balonmano, es una cuestión tenida en cuenta en los trabajos de Bayios y Boudolos (1998), Holt (1969), Mestre (1977), Sibila et al. (2003) y Vizcaíno (1978), entre otros.

Holt (1969) compara la efectividad de las acciones de la articulación del codo y los segmentos brazo-mano, en la utilización de dos técnicas diferentes: la técnica que usa el armado de brazo con flexión-extensión y la técnica que utiliza el brazo recto, concluyendo que los jugadores que utilizan la técnica de flexión-extensión

tenían más tiempo para lanzar. El tiempo determinado en el armado del brazo se estimó en 0.25 y 0.30 s, y en la acción de flexión-extensión en 0.08 y 0.10 s. La duración de la etapa de aceleración, desde la posición de máxima rotación externa del brazo hasta el despegue, era de 0.035 s.

Mestre (1977) realizó un estudio comparativo entre el lanzamiento en apoyo y en salto en balonmano. Los resultados ponen de manifiesto para el lanzamiento en apoyo un tiempo total de movimiento de 0.50 s, mientras que para el lanzamiento en salto se situaba en 0.58 s. Concluyó que una buena ejecución de un lanzamiento en apoyo no condicionaba el lanzamiento en salto, resaltando que, los grupos musculares, implicados en ambos son diferentes y por tanto la coordinación y sincronización de movimientos varía en unos respecto a otros. Afirmación que fue apoyada más tarde por Goluch (1982) al precisar que la fuerza no es un factor esencial en los lanzamientos en salto.

Vizcaíno (1978) afirma que el lanzamiento en salto debe crear su propio apoyo al ser efectuado en el aire, provocando movimientos segmentarios compensatorios. Así, mientras el brazo derecho y el tronco giran a la derecha (en jugadores diestros), la pierna derecha y las caderas lo hacen hacia la izquierda. Ello obliga a que, aún cuando el brazo ejecutor ya se encuentra armado, al concluir el impulso de la pierna contraria, debe esperar a que concluyan las acciones de giro para iniciar realmente el lanzamiento, siendo, por esta razón, este lanzamiento más lento que el ejecutado en apoyo.

Sibila et al. (2003) realiza un análisis biomecánico (cinemático) para comparar dos técnicas de lanzamiento en salto: el lanzamiento en salto clásico y el lanzamiento en salto a pie cambiado. Concluyen que es importante entrenar todos los tipos de lanzamiento para que sea el sujeto, en cada situación, quién decida cuál es el más eficaz.

Las investigaciones sobre el lanzamiento en balonmano, a nivel cinético, son muy escasas, este hecho va a impedir presentar muchos datos. La posibilidad de comparación de los datos no existe más que con los resultados de otras disciplinas deportivas de mano alta.

Fradet (2003), en su trabajo, obtiene valores del momento de abducción del brazo de entre 22 y 46 Nm, más pequeños que para el caso del béisbol donde se obtiene un valor medio de 70 Nm (Feltner y Dapena, 1986).

Fradet (2003) obtuvo valores del pico de momento de rotación interna del húmero comprendidos entre los 33 y 39 Nm contra los 50 Nm que obtuvo Rash y Shapiro (1995) en un estudio sobre el pase del quarterback en fútbol americano. Los picos del momento de aducción horizontal y de flexión del antebrazo son similares en ambos trabajos.

En cuanto a los picos de fuerza resultantes en las articulaciones del hombro, Fradet

(2003) obtuvo valores máximos similares a los encontrados en la literatura del pase del quarterback y del penalti en waterpolo. Estas fuerzas son, sin embargo, más pequeñas que las encontradas para el lanzamiento en béisbol. El valor máximo de fuerza superior que aparece durante la fase de lanzamiento es más pequeño en su estudio. Este valor era de un máximo de 54 N contra los 233 N para el pase del quarterback (Rash y Shapiro, 1995) y 96 N para el penalti en waterpolo (Feltner y Taylor, 1997).

En síntesis, Fradet (2003), destaca en su trabajo los siguientes aspectos, relativos a los parámetros cinéticos o dinámicos:

- a) Excepto por el momento de abducción horizontal, la evolución general de las fuerzas y los momentos durante el lanzamiento en balonmano, no presenta distinciones particulares, en relación a los estudios señalados de otras disciplinas deportivas de mano alta. Las hipótesis formuladas en la literatura para explicar las relaciones existentes entre estas fuerzas, estos momentos y el movimiento del brazo deben igualmente ser válidas para el lanzamiento en balonmano.
- b) Los valores máximos del momento de rotación interna y externa del húmero y de la abducción del brazo son inferiores a los encontrados en otras disciplinas deportivas.
- c) Los instantes de aparición de los picos de fuerza se explican por los picos de los momentos, los cuales aparecen todos antes que en las otras disciplinas deportivas. Esto puede explicar la precocidad del pico de velocidad angular de la aducción horizontal del brazo.

En el ámbito de estudio del balonmano, las investigaciones de carácter dinámico engloban todos aquellos trabajos que tratan de estudiar las causas físicas del movimiento, es decir, las fuerzas y momentos de fuerza, generalmente utilizan la electromiografía como técnica de registro de la medida. Según los parámetros que evalúen experimentalmente, las podemos clasificar en investigaciones sobre: a) Intervención muscular y producción de fuerza y b) Modelado y simulación del movimiento.

2.3.2.5.- ESTUDIOS DINÁMICOS DE INTERVENCIÓN MUSCULAR Y PRODUCCIÓN DE FUERZA

Existen muy pocos estudios que analicen la participación muscular de la articulación del hombro en la especialidad deportiva del balonmano, de ahí que tengamos que recurrir también, en este apartado, a los realizados en otras especialidades deportivas (tenis, béisbol, natación, etc).

Los estudios llevados a cabo por Jobe et al. (1984), sobre el lanzamiento en béisbol, ponen de manifiesto que los músculos de mayor actividad durante la fase de lanzamiento o aceleración, fueron el tríceps (extensor del codo), serrato (aductor de la escápula) y dorsal ancho (rotador interno del brazo). Gowan et al. (1987), también en béisbol, ponen de manifiesto que los lanzadores de alto nivel (profesionales) utilizan la musculatura del hombro de una forma eficiente para conseguir grandes velocidades, tanto en su secuencia temporal de participación como la intensidad selectiva de los músculos. Destacando el subescapular y el dorsal en jugadores profesionales. Se constata de la misma forma que la cadena cinética secuencial no varía a nivel de hombro en los distintos tipos de lanzamiento.

Parece ser, que la aceleración aplicada al balón durante los últimos instantes del lanzamiento es producida principalmente por una extensión del codo y por una rotación interna del brazo (Navarro, 1994). El movimiento de rotación respecto al eje longitudinal del brazo parece ser un factor a tener en cuenta (Kreighbaum y Barthels, 1981).

En los músculos del codo se produce una contracción excéntrica previa debido al aumento de la energía del tronco superior y brazo (Jöris et al., 1985). El tríceps juega un papel importante en la extensión del codo, aunque muchos autores piensan que la flexión ocasionada al comienzo de la fase de lanzamiento, como resultado de lo contrario, siendo la principal misión de este músculo controlar la flexión del codo (Atwater, 1979; Buckley y Kerwin, 1988; Pauwels, 1976). Feltner (1989) y Sakurai et al. (1993) restan importancia a la actuación del tríceps braquial en la aceleración del codo, matizando que dicha velocidad es producto de la interacción del antebrazo con el tronco-brazo. Se produce un "frenazo" del brazo en los últimos instantes del lanzamiento como consecuencia de una deceleración de la abducción y de la aducción horizontal que podría ser debida a la acción del potente dorsal ancho.

Feltner (1989) indica que la rotación interna del brazo es muy importante, alcanzando valores de hasta 5000 °/s. Se produce una deceleración de la rotación externa del brazo durante la primera mitad de la fase de lanzamiento ocasionando un preestiramiento de los músculos rotadores internos. Después, durante la etapa de aceleración, el vector aceleración sigue teniendo el sentido de la rotación interna y, por tanto, aumenta la velocidad de rotación interna del brazo. Como consecuencia

de esto, durante la fase de aceleración del brazo, los músculos que presentan mayor actividad son el subescapular (rotador interno del brazo), dorsal ancho (rotador interno del brazo), pectoral mayor (rotador interno del brazo), serrato mayor (abductor de la escápula) y bíceps.

Según Cooper y Glasgow (1968), Tarbell (1970) y Kreighbaum y Barthels (1981) las secuencias de acciones más importantes en el lanzamiento en balonmano son: la rotación del tronco, pronación esterno-clavicular, rotación del hombro, extensión del codo y flexión de muñeca y dedos.

Sobre la rotación del húmero, un estudio ha cuantificado la rotación externa máxima durante el lanzamiento en balonmano (Chagneau et al., 1992). Según este estudio, esta rotación oscilaba entre 35° y 45°, mientras que en otras disciplinas como el béisbol era de 51° a 95° (Escamilla et al., 2001). Por tanto, se observa como en la disciplina del balonmano la rotación externa máxima del húmero es menor que en otras disciplinas de mano alta (béisbol, waterpolo, etc.).

En cuanto a la contribución de la mano y los dedos durante el lanzamiento en balonmano, los estudios existentes sólo nos permiten compararla con la disciplina del waterpolo. Mientras que en el penalti en waterpolo esta contribución se cuantificó entre 3 y 22% (Cooper y Glasgow, 1968; Feltner y Nelson, 1996), en balonmano se cuantificó en 26% (Wit, 1998) de la velocidad final de la pelota. No obstante, hay que ser cautos a la hora de interpretar y generalizar estos resultados.

Siguiendo a Goluch (1982), los grupos de músculos que tienen más influencia en la velocidad de salida del balón, en el lanzamiento en salto, por orden de importancia serían: extensores de la rodilla, flexor del hombro, rotadores del hombro, flexor del codo, extensor del hombro y flexor de la cadera.

En cuanto al análisis de la producción de fuerza, hay que señalar a autores como: Fleck et al. (1992), Barata (1992), Hoff y Almasbakk (1995), Chiroso, L. J. (1998), Chiroso, I. J. (2003) y Tillaar (2004).

Fleck et al. (1992), en su estudio, investigan la relación entre la velocidad de salida del balón en lanzamientos en salto y en apoyo en Balonmano y el momento de torsión isocinético concéntrico del tronco (determinado a 180, 240 y 300 grados por segundo) en movimientos seleccionados de la extremidad superior. Se calcularon las velocidades máximas del balón en cuatro lanzamientos en salto y cuatro lanzamientos en apoyo mediante técnicas de video de alta velocidad y se encontraron índices de correlación significativos entre el lanzamiento con valores de velocidad más altos en salto y la extensión del hombro, el período de rotación, la aducción horizontal y la flexo-extensión del codo del brazo ejecutor en los tres test de velocidad isocinética aplicados.

La rotación isocinética concéntrica durante la aducción, flexión, extensión y rotación externa del hombro y la extensión del codo (calculadas a velocidades de movimiento

de 30° a 120° por segundo), estaban relacionadas significativamente con la velocidad del lanzamiento en Baseball. Se sugiere en la conclusión del estudio, el entrenamiento de fuerza orientado al aumento de las capacidades de rotación concéntrica en la extensión, rotación interna y aducción horizontal del hombro y la extensión del codo. Del mismo modo, se sugiere incluir un entrenamiento para la mejora de la capacidad de rotación de los músculos flexores del codo y de los abductores horizontales del hombro, para de esta forma asegurar de forma controlada la deceleración producida durante el lanzamiento.

Barata (1992) destaca la importancia de la aplicación de programas de entrenamiento que respeten la estructura de movimiento del gesto técnico. Lo fundamenta, en los resultados obtenidos por Mikkelsen y Olesen (1977) que al emplear distintos programas de entrenamiento de aplicación de fuerza, en los que utiliza balones lastrados, provocan una mejora de un 8% a un 3% en la velocidad de salida del balón en lanzamientos con tres pasos y en lanzamientos desde parado. Datos que corrobora, realizando un estudio en el que utiliza una muestra de 35 jugadores de Balonmano, que son divididos en dos grupos sometidos a dos programas de entrenamiento diferentes. El *programa A*, utiliza balones lastrados de 800 g y balones habituales de juego y el *programa B*, utiliza cargas entre 1 y 12 kg, obteniendo las más amplias mejoras el grupo sometido al programa A, más orientado a respetar la estructura real de gesto.

Justifica esta mejora en base a la utilización de un entrenamiento con cargas, velocidades de ejecución, forma de contracción y velocidad de la contracción muscular, similares a las condiciones reales de competición, siendo esta consideración especialmente importante al posibilitar una adecuada transferencia de movimientos basados en la perfecta coordinación específica que requiere el lanzamiento en salto y que solo se puede conseguir con entrenamientos de mejora similares a los demandados en su puesta en escena real (Bosco, 1983; Jöris et al., 1985; Mikkelsen y Olesen, 1976; Sale, 1988; Schmidtbleicher, 1992; Viitasalo, 1988).

Hoff y Almasbakk (1995) estudian los efectos de un entrenamiento de fuerza máxima en la velocidad de lanzamiento y en la fuerza muscular en un equipo femenino de Balonmano. Emplean un entrenamiento en el que se combina la utilización del ejercicio *press de banca* (en posición decúbito supino sobre un banco, se realizan acciones de flexión-extensión de brazos a altura pectoral en sentido vertical con barra y discos con cargas), junto a un entrenamiento de habilidades habituales en Balonmano. Los resultados del estudio indican un incremento significativo en la velocidad del balón y de fuerza máxima en los grupos que incluían ejercicios de *press de banca*, incrementándose los valores de 19.8 a 23.3 m/s en la velocidad del balón en lanzamientos en apoyo y de 41.6 a 55.1 kg en la fuerza máxima, respecto al grupo control que solo obtiene mejoras significativas en la velocidad del balón pasando de 18.5 a 21.1 m/s en lanzamiento en apoyo y de

22.6 a 24.6 m/s en lanzamiento en carrera. Estos resultados indican la conveniencia de incluir ejercicios de *press de banca* como entrenamiento específico para la mejora del lanzamiento, provocada por el protagonismo que adquieren los músculos afectados (dorsal ancho, pectoral mayor, flexores y extensores del hombro, rotadores del hombro, etc.) y su implicación en la ejecución del lanzamiento.

Chirosa, L. J. (1998), analiza la mejora de la fuerza de impulsión del miembro inferior, durante un lanzamiento en balonmano, confirmándose la mejora de la fuerza dinámica al aplicar un entrenamiento de fuerza utilizando un método de contraste respecto a la utilización de un método convencional. En sus conclusiones destaca que el entrenamiento de contraste con cargas del 70% y del 80%, de la fuerza máxima combinado con series de 2 o 3 lanzamientos en suspensión, mejora la fuerza explosiva y la capacidad elástica.

Chirosa, I. J. (2003), analiza la administración de una magnitud de carga determinada mediante dos metodologías de trabajo tradicionales el entrenamiento localizado (E.L.) frente al entrenamiento general o en circuito (E.C.). El objetivo principal de esta investigación era comprobar el efecto que producen cada una de ellas sobre distintas variables morfo-funcionales de los sujetos. Participaron en el estudio veinticuatro sujetos ($22,71 \pm 3,26$ años; $175,25 \pm 22,30$ cm; $73,65 \pm 9,95$ kg), varones, estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de la Universidad de Granada, con al menos un año de experiencia en entrenamiento de fuerza con pesas, éstos fueron seleccionados y distribuidos aleatoriamente en dos grupos (Ga=11 y Gb=13). Cada grupo realizó un tratamiento de 8 semanas de entrenamiento de fuerza con cargas submáximas (70-80% de 1RM; Velocidad de ejecución 1:2). El Grupo A trabajaba mediante rutinas divididas, mientras que el Grupo B realizó el trabajo con entrenamientos en circuito. Al final de cada Microciclo en ambos grupos habían realizado la misma cantidad de carga. Los controles se hicieron al comienzo, a la mitad y al final de las 8 semanas. En cada control se pasaba una batería de test compuesta por pruebas antropométricas (peso, diámetros, porcentaje graso), y pruebas funcionales (SJ, CMJ, 1RM Prensa Atlética, 1RM Press de Banca, 1RM Remo Sentado, Course Navette). Los resultados obtenidos muestran que no existían diferencias significativas entre los grupos para ninguna de las variables antropométricas analizadas

Tillaar (2004), realiza un estudio, sobre los efectos de diferentes programas de entrenamiento en cuanto a la velocidad del lanzamiento en balonmano. Clasifica los programas de entrenamiento en cuatro tipos: a) entrenamiento específico de la resistencia con sobrecarga de velocidad, b) entrenamiento específico de la resistencia con sobrecarga de fuerza, c) entrenamiento específico de la resistencia con una combinación de sobrecarga de fuerza y velocidad, y d) entrenamiento general de la resistencia con sobrecarga de fuerza. Tillaar (2004) en su trabajo, presenta y discute cada programa.

2.3.2.6.- ESTUDIOS SOBRE MODELADO Y SIMULACIÓN DEL MOVIMIENTO

Dentro del campo de la dinámica podemos incluir los estudios relativos al modelado y simulación del movimiento deportivo. Aunque no se encuentran muchos trabajos específicos de balonmano al respecto, poco a poco se está instaurando como un modo de análisis más del movimiento deportivo.

Uno de los medios de determinar cuál es el gesto óptimo en una disciplina deportiva es analizar el movimiento efectuado por sujetos expertos. Se ha comprobado, en puntos precedentes del presente trabajo, cómo los parámetros cinemáticos y dinámicos de un movimiento permiten distinguir los criterios de mejora propios de una disciplina deportiva.

No obstante, siempre podremos hacernos la pregunta de si los sujetos más expertos en un deporte realizan el gesto realmente de forma más eficaz que otros menos considerados. La simulación nos permitirá reproducir el movimiento natural en laboratorio para poder así estudiarlo con más detenimiento y calcular de forma más fiable los criterios de mejora.

La simulación se puede utilizar, pues, para la animación del movimiento humano (realidad virtual) y para verificar ciertas hipótesis que no es posible constatar en el modelo real. En la realidad es casi imposible realizar un gesto idéntico dos veces, la simulación sí permite esto, con lo cual se podrían estudiar parámetros concretos manteniendo los otros siempre iguales de ensayo a ensayo.

Existen numerosos métodos para proceder a la simulación de un movimiento (Faure, 1997; Multon, 1998). Los métodos cinemáticos describen las posiciones de cada una de las articulaciones en función del tiempo. Los métodos dinámicos buscan reproducir las fuerzas y los momentos de fuerza responsables del movimiento en las articulaciones. Ambos son distintos, pues, el dinámico se interesa por las causas del movimiento y el otro, el cinemático, por las consecuencias del gesto.

No existen numerosos estudios sobre simulación, dedicados exclusivamente al lanzamiento en balonmano, destacamos los trabajos de Fradet (2003), Bideau (2003) y Bideau et al. (2003).

Fradet (2003) realiza un modelado y simulación cinemática del lanzamiento en balonmano con la ayuda de un programa informático. El modelado cinemático ha sido efectuado a partir de trayectorias lineales y no a partir de trayectorias angulares de las articulaciones. En su trabajo afirma que es relativamente reproducible el lanzamiento de un mismo sujeto y que éste no se diferencia mucho del realizado por otro.

Bideau (2003) resalta la importancia de la realidad virtual para el análisis de duelos deportivos, y la aplica en el caso concreto del duelo entre el portero y un lanzador

en balonmano.

Sería interesante que estudios futuros abordaran el análisis del lanzamiento en balonmano desde el punto de vista de la simulación y la realidad virtual.

2.3.2.7.- EXPOSICIÓN CRONOLÓGICA DE LAS INVESTIGACIONES MÁS RELEVANTES

Entre las investigaciones sobre el lanzamiento en balonmano, extraídas de la revisión bibliográfica, destacamos en orden cronológico las siguientes:

Jöris, H.J.J.; Edwards van Muyen, A.J.; van Ingen Schenau, G.J.; Kemper, H.C.G. (1985). Force, velocity and energy flow during the overarm throw in female handball players. *Journal of Biomechanics*, 18(6), 409-414

El objetivo del estudio es explicar y analizar el patrón de lanzamiento basado en la transmisión de velocidades. Se trata de un análisis con cinematografía en dos dimensiones, utilizando como muestra 56 jugadoras de balonmano. Entre las conclusiones del trabajo encontramos:

- Existe un patrón de lanzamiento basado en la transmisión de velocidad de las partes más proximales a las más distales.
- Se produce una contracción excéntrica previa de los músculos del codo debido a la flexión ocasionada al comienzo de la fase de lanzamiento como resultado del aumento de energía del tronco superior y brazo.
- La desaceleración de un segmento es debida a la fuerza ejercida sobre él por el siguiente segmento (más cercano al extremo libre).
- Las acciones consecutivas de los segmentos están relacionadas con propiedades musculares intrínsecas (no voluntarias) y con el flujo de energía entre los segmentos.

Kotzamanidis, C.; Papadopoulos, C.; Giavroglou, A. (1987) Kinematic-dynamic analysis of the support phase in different throws of handball. In Tsarouchas, L. (ed.), Hellenic Sports Research Institute, Biomechanics in sports V: proceedings of *the Fifth International Symposium of Biomechanics in Sports*, held in 1987 at Athens, Greece, Athens, Hellenic Sports Research Institute, Olympic Sports Center of Athens, 212-226

En este estudio los autores realizan un estudio cinético-cinemático, en el cual analizan las fuerzas actuantes en las distintas extremidades durante la fase de vuelo, los tiempos de movimiento y las velocidades de salida del balón. El estudio se llevó a cabo con 15 jugadores de Balonmano de los equipos nacionales de Yugoslavia, Bulgaria, Rumania y Turquía con edades comprendidas entre 18 y 23 años y utilizaron técnicas cinematográficas con cámaras de alta velocidad (100 imágenes por segundo). El análisis se centró en cuatro tipos de lanzamientos a distancia (9 m): a) lanzamiento en apoyo sin carrera previa, b) lanzamiento en apoyo con carrera previa, c) lanzamiento en salto vertical y d) lanzamiento en salto horizontal, siendo un estudio de gran interés como revelan los datos expuestos en la tabla 2.10.

Eliasz, J. (1996) The relationships between throwing velocity and motor ability parameters of the high-performance handball players. *In XIII International symposium for biomechanics in sport: proceedings*. Lakehead University, Thunder Bay, Ontario, Canada, July 18-22, Lakehead University, 38-43.

El objetivo de la investigación era encontrar las relaciones entre la velocidad de salida del balón en diferentes lanzamientos (en apoyo, en apoyo con un paso previo y en salto vertical) y los parámetros de habilidad de motor (la fuerza del músculo, velocidad del brazo).

El valor más alto de velocidad en la suelta del balón se ha logrado con el lanzamiento en apoyo con un paso previo, y las diferencias entre este valor y las velocidades medidas durante los lanzamientos en apoyo y en salto vertical eran estadísticamente significativas.

La investigación tiene algunas aplicaciones prácticas. Hay dos posibilidades relevantes para mejorar la velocidad del lanzamiento, probablemente en los tres tipos de lanzamiento: a) por el desarrollo la fuerza de los músculos abdominales y b) por la mejora del movimiento de rotación externa e interna de la articulación del hombro. Por ejemplo, la segunda posibilidad de mejora puede lograrse usando una pelota más ligera durante los entrenamientos. Todas estas afirmaciones necesitarán de la comprobación práctica en el entrenamiento.

Tabla 2.10.- Análisis de distintas variables que inciden en la velocidad del balón en los lanzamientos en balonmano (adaptado de Kotzamanidis et al., 1987)

VARIABLES	TIPOS DE LANZAMIENTO			
	En apoyo sin carrera previa	En apoyo con carrera previa	En Salto vertical	En salto horizontal
Tiempo total de la fase de vuelo (s)	-	-	0.25±0.102	0.24±0.02
<u>Variables de deceleración horizontal</u>				
- Tiempo (s)	0.34±0.11	0.25±0.08	0.22±0.02	0.18±0.03
- Velocidad (m/s)	0.41±0.10	0.97±0.26	1.43±0.37	0.76±0.29
- Fuerza (N)	63.47±54.59	305.37±99.01	445.70±91.66	309.07±33.77
<u>Variables de aceleración horizontal</u>				
- Tiempo (s)	0.37±0.16	0.29±0.14	0.03±0.01	0.06±0.02
- Velocidad (m/s)	1.45±1.01	0.36±0.34	0.03±0.01	0.08±0.04
- Fuerza (N)	86.06±35.39	75.88±41.69	48.58±27.30	93.46±31.95
Velocidad de salida del balón (m/s)	24.20±1.65	24.75±1.80	23.44±2.05	25±1.99
Fuerza máx vertical (N)	1.301±1.67	1.601±323	2.999±464	2.825±317
Tiempo de exposición de la máx fuerza vertical (s)	0.35±0.20	0.13±0.09	0.13±0.01	0.12±0.02
Relación entre la deceleración y la aceleración (coef. K)	92	248	5645	765
n =15, p≤ 0,05 y r ≤ 0 .480				

Entre los factores de eficacia motora, es la fuerza total muscular del cuerpo, la fuerza de los flexores del tronco (músculos abdominales) y la capacidad de velocidad angular de la articulación del hombro, los que tienen un mayor efecto sobre la velocidad

de la pelota en los diferentes tipos de lanzamiento. La velocidad del brazo es el factor más importante que determina la velocidad de la pelota durante el lanzamiento en apoyo (técnicamente el más simple). La fuerza muscular tiene la mayor influencia en la velocidad de la pelota durante el lanzamiento en apoyo (técnicamente el más complicado).

Bayios, I. y Boudolos, K. (1998) Accuracy and throwing velocity in handball. *XVI International symposium on biomechanics in sports*, Proceedings I, Rielhe H.J., Vieten M.M. (eds), 55-58.

El objetivo principal del estudio era analizar la relación entre la precisión y la velocidad del lanzamiento en balonmano, utilizando como muestra a tres grupos de sujetos (A¹-jugadores de la 1^a división griega de balonmano, A²- jugadores de la 2^a división y el tercer grupo compuesto por estudiantes de educación física).

Para medir la velocidad de los lanzamientos utilizan el láser y para medir la precisión utilizan un dispositivo de "Hit-detector" (detector de golpes), este sistema permite medir, por medio de detectores eléctricos, el lugar de impacto del balón en la portería. Por término medio, para jugadores de primera división griega de balonmano, la distancia que separaba el blanco pretendido del impacto de la pelota era de 20.9 cm para un lanzamiento efectuado a 7 m en apoyo sin carrera previa, de 18.45 cm para un lanzamiento en apoyo con un paso de carrera previa y de 22,62 para un lanzamiento en salto vertical, tal y como puede apreciarse en la tabla 2.11.

Hay que señalar que los grupos de más nivel, el A¹ y A², presentan más precisión y más velocidad cuando lanzan en apoyo con un paso de carrera previa, y seguidamente cuando lo hacen en apoyo sin paso previo. Donde consiguen menos precisión es en el lanzamiento en salto vertical.

Tabla 2.10.- Valores medios de distancia al blanco (precisión) y de velocidad de salida del balón en distintos tipos de lanzamientos (adaptado de Bayios y Boudolos, 1998).

	En apoyo	Con un paso previo	En salto
Grupo A¹ (1ª división)	20.90 ± 7.79 cm	18.45 ± 7.57 cm	22.62 ± 7.14 cm
	23.51 ± 2.23 m/s	26.27 ± 3.21 m/s	22.74 ± 2.16 m/s
Grupo A² (2ª división)	22.94 ± 5.44 cm	19.57 ± 8.84 cm	24.31 ± 8.39 cm
	20.08 ± 1.12 m/s	23.22 ± 1.86 m/s	20.54 ± 1.63 m/s
Estudiantes	38.91 ± 12.57 cm	41.55 ± 13.70 cm	35.88 ± 14.34 cm
	16.85 ± 1.58 m/s	18.90 ± 1.98 m/s	15.54 ± 4.52 m/s

Wit, A. (1998) A three-dimensional kinematic analysis of handball throws. *XVI International Symposium on Biomechanics in Sports*, Proceedings I, edité par Rielhe H.J., Vieten M.M., 281-284.

El objetivo principal de este estudio era establecer las relaciones entre las pautas de movimiento de los jugadores de balonmano y la velocidad del lanzamiento. Los sujetos del estudio son jugadores de alto nivel, y el protocolo consiste en realizar lanzamientos en apoyo a una distancia de 7 metros hasta la portería.

Se han medido los siguientes parámetros cinemáticos: la duración del movimiento, el desplazamiento lineal de los segmentos del cuerpo (cadera, tronco, hombro, parte de arriba del brazo, antebrazo y mano), las velocidades lineales de dichos segmentos y el balón, el impulso mecánico lineal y la cantidad de movimiento.

Obtiene una velocidad media de salida del balón de 24.45 ± 1.97 m/s (rango de 21.11-28.50 m/s), un desplazamiento lineal de la mano con el balón (plano XY) de $-1.70 \text{ m} \pm 0.14$ m. La energía generada por el tronco se transfiere al hombro, la del hombro a la parte de arriba de brazo, la del brazo al antebrazo y la del antebrazo a la mano.

Se ha encontrado una correlación significativa entre los valores de energía mecánica liberada por la parte de arriba del brazo y la velocidad horizontal del balón. Los valores de la velocidad horizontal del balón dependen de la cantidad de movimiento total del cuerpo ($\text{kg}\cdot\text{m/s}$). Los jugadores tienden a alcanzar una gran cantidad de movimiento (el máximo) en todos los segmentos, a 30-70 ms antes de la suelta del balón, este dato coincide con otros deportes como el béisbol (Escamilla et al., 1998) y el waterpolo (Feltner y Taylor, 1997).

Este autor establece que el éxito de un lanzamiento en balonmano depende sobretodo de la velocidad con la que se consiga lanzar el balón. Cuanto más rápido vaya el balón, menos tiempo tendrán los defensas y el portero para reaccionar. Basándose en Marczinka (1993), este autor establece que, entre los diferentes tipos de lanzamientos en balonmano, tres son los que se distinguen como los más característicos: en apoyo, con un paso cruzado adelante y el realizado en salto. Es en el lanzamiento con un paso cruzado adelante donde se consigue más velocidad de salida del balón (Eliasz et al., 1990), aunque el lanzamiento más sencillo técnicamente es el realizado en apoyo (Marczinka, 1993). Los principales factores del jugador de balonmano, que afectan a la velocidad del balón, pueden dividirse en tres grupos: a) características somáticas, b) habilidades motrices y c) técnica de lanzamiento. La técnica puede mejorarse con el entrenamiento, pero en alta competición es difícil mejorar la técnica, pues los jugadores ya la tienen muy automatizada.

Como conclusión principal, Wit (1998) señala, que el análisis de la cantidad de

movimiento puede ser usado para estimar la eficacia de la técnica del lanzamiento. En la figura 2.3. se pueden observar la evolución de la cantidad de movimiento en los distintos segmentos corporales.

Párraga Montilla, J. A.; Sánchez Vinuesa, A; Oña Sicilia, A. (2001) Importancia de la velocidad de salida del balón y de la precisión como parámetros de eficacia en el lanzamiento en salto a distancia en balonmano. *Apunts: educación física y deportes*, 66, 44-51.

Párraga et al. (2001), en su estudio, realizan un análisis fotogramétrico bidimensional (2D) para calcular la velocidad de salida del balón, en el momento de perder contacto con la mano ejecutora. Analizan la velocidad de salida del balón y la precisión en la localización del balón en la portería, pero utilizando un blanco variable (en tamaño, forma, localización, etc.).

La muestra estaba compuesta por 16 jugadores de la liga Asobal de Balonmano, de máximo nivel, cada jugador debía hacer 9 lanzamientos a portería en 9 condiciones diferentes, determinadas por la posición del portero, respecto a la portería, y por el momento de aparición de la imagen de éste (vídeo proyector de imagen).

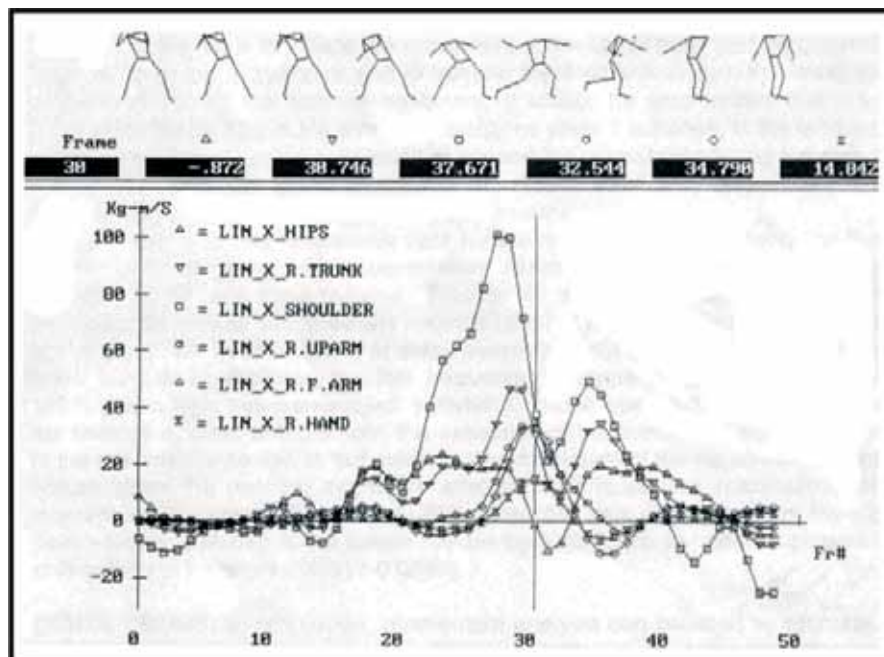


Figura 2.3.- Evolución de la cantidad de movimiento en la cadera, tronco, hombro, parte de arriba del brazo, antebrazo y mano (adaptado de Wit, 1998).

El objetivo del lanzamiento era la adecuada elección de las zonas de localización del balón en la portería que, unida a una óptima velocidad del balón, supondría el aumento de dificultad de las intervenciones del portero y por tanto de las posibilidades de éxito atacante. Para calcular la precisión, Párraga et al. (2001), utilizaron la asignación de puntuación a distintos espacios de la portería en función de la colocación del portero, de manera similar a como lo describe Zeier (1987).

Como resultados obtienen que los mayores niveles de velocidad del balón se producen cuando el portero se encuentra situado a la izquierda (respecto a la visión del lanzador), con independencia del momento en el que era presentado el estímulo. La media de valores máximos en esta condición experimental fue de 20.539 m/s respecto al mínimo 17.214 m/s que se dio en la condición en la cual el portero se encontraba a la derecha.

El hecho de que la velocidad de salida del balón sea mayor cuando el portero se sitúa a la izquierda (visión del lanzador), puede estar provocado por la necesidad de emplear más tiempo para desarrollar la cadena cinética y algunas condiciones compensatorias, necesarias para una correcta ejecución mecánica del gesto. En los lanzamientos realizados al punto débil (lado contrario del brazo ejecutor) la cadena cinética implica una mayor rotación del tronco y una compensación en sentido contrario de las caderas y miembros inferiores. Por el contrario si se obliga a lanzar al punto fuerte (lado del brazo ejecutor), la cadena cinética implicada es más natural, implicando una rotación más desplazamiento del tronco hacia delante, asociado a una participación importante de los músculos rotadores del hombro en ciclo estiramiento-acortamiento, sin que exista una rotación excesiva del tronco, donde la línea de hombros se desplaza paralela o casi paralela a portería, lo que permite que la velocidad de salida del balón sea mayor, justificándose los resultados obtenidos (figura 2.4.).

El análisis de los resultados muestra que las tasas de velocidad obtenidas son similares a las obtenidas en los estudios llevados a cabo por Pokrajac (1980), con iguales características metodológicas. Además, la precisión no se ve afectada por la velocidad de salida del balón, ni por el momento del lanzamiento ni por la posición del portero, si bien hay que matizar que no hubo, en su estudio, condiciones de oposición defensiva.

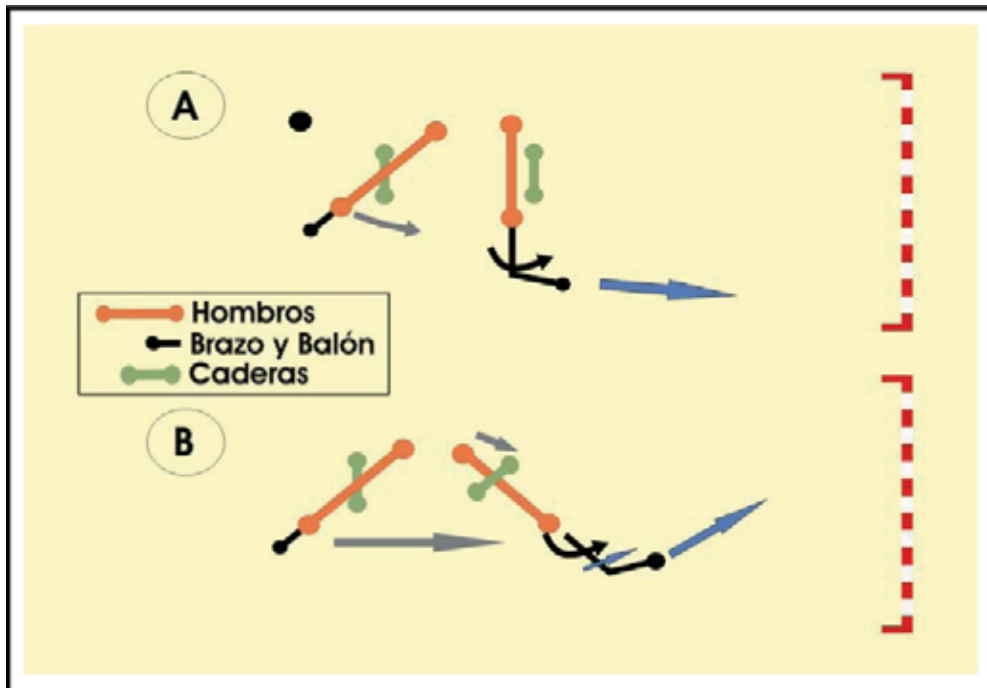


Figura 2.4.- Representación gráfica de la acción de las caderas y hombros en función de la trayectoria del lanzamiento (A.- Punto fuerte del lanzador; B.- Punto débil del lanzador) (adaptado de Párraga et al., 2001).

Bayios, I.A.; Anastasopoulou, E.M.; Sioudris, D.S.; Boudolos, K.D. (2001) Relationship between isokinetic strength of the internal and external shoulder rotators and ball velocity in team handball. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 41(2), 229-235

El objetivo de este estudio era analizar la relación entre la fuerza de rotación interna y externa del hombro y la velocidad del balón en jugadores de balonmano de varios niveles.

La investigación se llevó a cabo en tres grupos de jugadores diferentes: a) un grupo de 15 jugadores de balonmano de Primera División griega (A_1), b) otro grupo de 12 jugadores de balonmano de la Segunda División (A_2) y c) una muestra escogida al azar de 15 estudiantes de educación física.

La fuerza se midió con un dinamómetro isokinetic (Cybex II). La acción concéntrica de la rotación interna y externa del hombro fue examinada en 60, 180 y 300 deg/sec. La velocidad de salida del balón fue calculada en tres tipos de lanzamiento: a) en apoyo, b) con un paso previo, y c) en salto vertical.

Los resultados obtenidos muestran que las diferencias en los valores de torsión máximos de rotación interna y externa del hombro entre los tres grupos no eran estadísticamente significativas. Las diferencias entre los grupos con respecto a velocidad del balón en todos los tipos de lanzamiento sí eran estadísticamente significativas ($p < 0.001$).

La relación entre la rotación interna y externa del hombro y la velocidad del balón no era estadísticamente significativa, excepto en el lanzamiento en salto.

La conclusión que se deduce del estudio es que la fuerza de rotación interna y externa del hombro, no era un buen indicador de la velocidad en ningún tipo de lanzamiento, exceptuando el realizado en salto, en cualquier grupo de jugadores. En la figura 2.5. se representan gráficamente algunos de los aspectos más importantes del estudio: a) posición de medida de la fuerza isocinética y la rotación interna-externa del hombro, b) tres tipos de lanzamiento (A.- en apoyo; B.- con paso previo; C.- en salto vertical), c) tabla con los valores cinéticos y d) valores de la velocidad del balón.

Sibila, M; Pori, P; Bon, M (2003) Basic kinematic differences between two types of jump shot techniques in handball. *Gymnica*, 33(1), 19-26

Se realiza un análisis biomecánico (cinemático) para comparar dos técnicas de lanzamiento en salto: el lanzamiento en salto clásico (JS1) y el lanzamiento en

salto a pie cambiado (JS2), es decir, cuando coincide el pie de batida con el brazo ejecutor.

Según estos autores el lanzamiento en salto en balonmano es la técnica más típica entre las técnicas de lanzamiento a portería. Normalmente el lanzamiento en salto se realiza de forma clásica, es decir, la pierna de despegue está en el lado contrario a la mano que lanza (JS1). En este caso las ganancias del jugador, la coordinación natural es más correcta y permite una mayor eficacia en el lanzamiento (velocidad y precisión). Pero durante el juego nosotros podemos ver también situaciones en las que los jugadores se ven obligados a realizar el lanzamiento en salto a pie cambiado, es decir, con la pierna que impulsa en el mismo lado que la mano que lanza (JS2). Este tipo de lanzamientos en salto son más complejos y exigen un buen desarrollado de la coordinación inter e intramuscular. Están condicionados por la situación de juego y muestran un ejemplo de la adecuación del gesto básico en función de otros factores.

Como conclusiones del estudio de Sibila et al. (2003), se encontraron similitudes y diferencias entre ambos tipos de lanzamientos (JS1 y JS2). Las más interesantes fueron las siguientes:

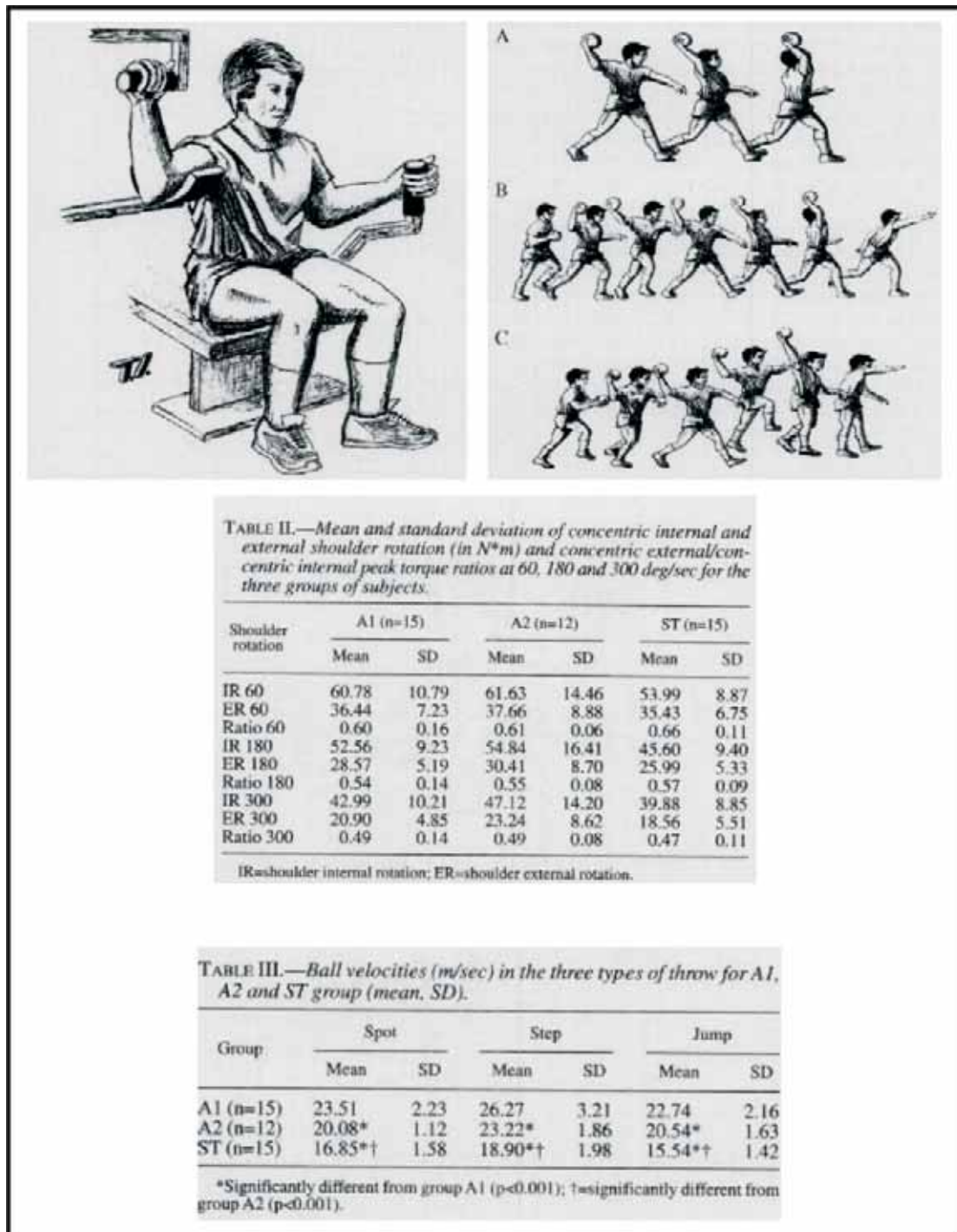


Figura 2.5.- a) Posición de medida de la fuerza isocinética y la rotación interna-externa del hombro, b) tres tipos de lanzamiento (A.- en apoyo; B.- con paso previo; C.- en salto vertical), c) tabla con los valores cinéticos y d) valores de la velocidad del balón (Bayios et al., 2001).

- El desplazamiento horizontal del centro de gravedad del cuerpo, durante el vuelo, en el lanzamiento JS2 era mayor ($M= 151$ cm y $SD= 13.73$ cm) que el del lanzamiento JS1 ($M= 128$ cm y $SD= 20.12$ cm).
- En el JS1 la altura del lanzamiento era mucho mayor ($M= 174$ cm y $SD= 9.22$ cm) que en JS2 ($M= 168$ cm y $SD= 8.99$ cm). El lanzamiento (JS2) se realizó justo antes de aterrizar.
- El ángulo entre el eje del hombro y la horizontal, al final del despegue, desde una visión sagital, era significativamente mayor en JS1 (153° en JS1 y 110° en JS2) y el de la cadera (109° en JS1 y 125° en JS2) era mayor en JS2. Esto es una de las diferencias más importantes entre ambos lanzamientos. Significa que la posición de los jugadores al final del despegue en JS2 era frontal y en JS1 era de lado, con respecto a la dirección de acercamiento a portería.

Con esta situación, se obliga a los jugadores, en JS2, a que realicen como consecuencia, un balanceo atrasado específico con la mano ejecutora, mientras en JS1, los jugadores pueden hacerlo durante el último paso o aún antes. Esto es imposible en JS2. Por consiguiente, en JS2 los jugadores tienen que realizar una acción de "látigo" hacia atrás. En la mayoría de los casos, en JS2, empezaron esta acción simultáneamente con el despegue y luego la continuaron durante el vuelo. Por eso se retrasaban en el lanzamiento y lo realizaban un poco antes de aterrizar.

- Los aterrizajes en JS1 se realizaban principalmente con la pierna de despegue (pierna izquierda) mientras en JS2 se hacían con la pierna opuesta a la de impulso (pierna izquierda).

Después de los análisis detallados de ambos tipos de lanzamiento (JS1 y JS2), se comprobó que, en los JS1, existía una altura mayor del vuelo y una mayor velocidad del lanzamiento que en JS2. En la tabla 2.12., podemos observar la velocidad de salida del balón en cada tipo de lanzamiento, además de los picos de velocidad y sus momentos, alcanzados por los puntos de la cadena cinética . Por otro lado, en JS2 existía una mayor sorpresa.

Tabla 2.11.- Picos de velocidad y momento en que se producen, de los distintos puntos que componen la cadena cinética (hombro, codo, muñeca y balón), en los dos tipos de lanzamientos (JS1 y JS2) (Sibila et al., 2003).

	Picos de Velocidad		Momento del pico de velocidad	
	JS1	JS2	JS1	JS2
HOMBRO	5.48 m/s	5.53 m/s	0.31 s	0.40 s
CODO	10.70 m/s	10.04 m/s	0.33 s	0.42 s
MUÑECA	13.55 m/s	12.98 m/s	0.39 s	0.48 s
BALÓN	24.14 m/s	22.32 m/s	0.41 s	0.50 s

Dedujeron que era más eficaz el SJ1 puesto que permitía lanzar con más potencia y desde más lejos. No obstante, el SJ2 es eficaz en situaciones más cercanas a portería cuando se pretende sorprender por la velocidad de ejecución del gesto, que es menor que en el SJ1.

Van den Tillaar R., Ettemaa G. (2003a) Influence of instruction on velocity and accuracy of overarm throwing. *Perceptual and motor skills*, 96, 423-434

Estos autores han estudiado la influencia de instrucciones sobre velocidad del balón y precisión en un lanzamiento por encima del hombro hacia portería. Los sujetos experimentales fueron 9 jugadores noruegos de alto nivel, éstos ejecutaron la tarea de lanzamiento siete veces bajo 5 instrucciones diferentes, por las cuales se modificaba el énfasis en precisión o velocidad. Cuando las instrucciones daban énfasis a la precisión cada vez más, la velocidad disminuía. Sin embargo, la precisión no mejoró cuando se dio más énfasis a ella. Una posible explicación para esto puede ser el grupo de sujetos participantes, ya que se trataba de jugadores de alto nivel muy experimentados, con un promedio de 12 años en el deporte. Así, la precisión de sus lanzamientos era, de por sí, buena aunque realizaran lanzamientos de velocidad. La velocidad de lanzamiento, cuando la instrucción daba énfasis a la precisión, era aproximadamente un 85% de la velocidad máxima. Se puede deducir de esto que los jugadores entrenan la precisión siempre realizando los lanzamientos a máxima velocidad. En la figura 2.6. se representan gráficamente los aspectos más importantes del estudio: a) las instrucciones sobre velocidad y precisión, b) el protocolo experimental indicando el panel y la distancia y c) la velocidad del balón en el momento de la pérdida de contacto según determinadas instrucciones.

Fradet, L.; Botcazou, M.; Durocher, C.; Cretual, A.; Multon, F.; Prioux, J.; Delamarche, P. (2004) Do handball throws always exhibit a proximal-to-distal segmental sequence?. *Journal of sports sciences*, 22(5), 439-447

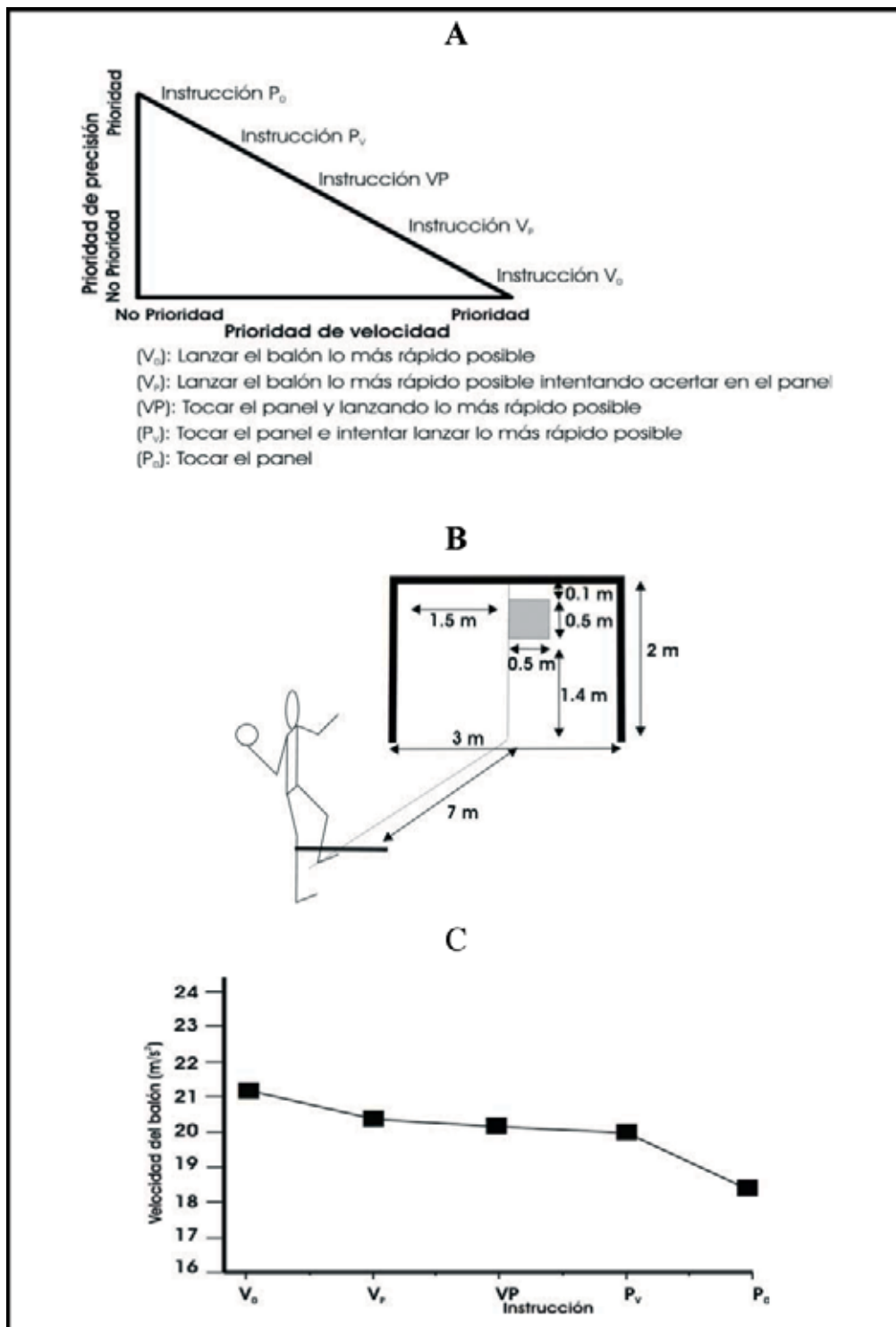


Figura 2.6.- a) Instrucciones sobre velocidad y precisión, b) representación del protocolo experimental indicando el panel y la distancia y c) velocidad del balón en el momento de la pérdida de contacto según determinadas instrucciones (Tillaar y Ettema, 2003a).

En el presente estudio los autores intentan aclarar la controversia encontrada en la literatura, a la luz de los estudios de Yamamoto et al. (1987) y Tillaar y Ettemaa (2000, 2002, 2003a y 2003b), sobre la evolución de la cadena cinética en el lanzamiento balonmano. Obtuvieron que la velocidad lineal máxima del hombro ocurrió después de la velocidad máxima del codo, y que la rotación del tronco no cesaba en el mismo momento que se iniciaba el movimiento del brazo. Es difícil y arriesgado generalizar estos resultados, pero lo que sí establecen en su estudio es que es necesario seguir investigando este aspecto en sujetos de nivel internacional. En las tablas 2.13., 2.14., 2.15. y 2.16. se expresan los resultados de este estudio y en la figura 2.7. se puede observar la evolución de la velocidad lineal del hombro, codo y muñeca.

Van den Tillaar R., Ettemaa G. (2004) Effect of body size and gender in overarm throwing performance. *European Journal Applied Physiology*, 91 (4), 413-418

El objetivo principal del estudio era examinar la relación entre la fuerza isométrica máxima, la antropometría y la velocidad máxima en los lanzamientos en balonmano. La muestra estaba compuesta por jugadores experimentados de balonmano, 20 hombres y 20 mujeres. Se obtuvieron medias de velocidad de salida del balón de 23.2 m/s en hombres y de 19.1 m/s en mujeres. Se encontró una correlación similar entre la fuerza isométrica máxima y la velocidad de salida del balón, tanto en hombres como en mujeres. El análisis de varianza (univariado) para estas mismas variables no mostró resultados estadísticamente significativos. Estos autores concluyeron que la relación entre la velocidad de salida del balón y la fuerza isométrica, es independiente del género, y que las diferencias de género que se dan son debidas al menor porcentaje de músculo en las mujeres con respecto a los hombres. Para hablar de la antropometría, la mejor medida sería hablar de FFM (fat-free body mass o masa del cuerpo libre de grasa).

Tabla 2.12.- Duración del lanzamiento y velocidad del balón (Fradet et al. 2004).

SUJETOS	Duración (s)	Velocidad (m/s)
S1	0.24 ± 0.01	21.9 ± 1.5
S2	0.20 ± 0.01	19.9 ± 1.5
S3	0.20 ± 0.02	21.9 ± 0.5
S4	0.25 ± 0.02	26.2 ± 1.6
S5	0.27 ± 0.03	25.6 ± 0.8
S6	0.25 ± 0.04	24.7 ± 0.3
Media	0.23 ± 0.03	23.4 ± 2.5

Tabla 2.13.- Velocidad lineal máxima del Hombro (V_{hombro}), Codo (V_{codo}) y Muñeca ($V_{\text{muñeca}}$) (Fradet et al. 2004).

SUJETOS	V_{hombro} (m/s)	V_{codo} (m/s)	$V_{\text{muñeca}}$ (m/s)
S1	5.0 ± 0.2	8.8 ± 0.4	12.8 ± 1.2
S2	4.6 ± 0.3	8.8 ± 0.4	11.8 ± 0.9
S3	5.3 ± 0.3	9.5 ± 0.1	14.2 ± 0.8
S4	5.5 ± 0.3	10.4 ± 0.4	14.3 ± 0.8
S5	5.4 ± 0.4	10.6 ± 0.5	15.0 ± 1.2
S6	6.0 ± 0.3	10.2 ± 1.0	14.7 ± 0.3
Media	5.3 ± 0.5	9.7 ± 0.8	13.8 ± 1.2

Tabla 2.14.- Instante en que se produce la máxima velocidad lineal (Fradet et al. 2004).

SUJETOS	Hombro (s)	Codo (s)	Muñeca (s)
S1	-0.03 ± 0.01	-0.07 ± 0.01	-0.02 ± 0.01
S2	-0.02 ± 0.01	-0.04 ± 0.01	-0.01 ± 0.01
S3	-0.03 ± 0.02	-0.06 ± 0.01	-0.02 ± 0.01
S4	-0.03 ± 0.02	-0.05 ± 0.01	-0.02 ± 0.00
S5	-0.03 ± 0.01	-0.06 ± 0.01	-0.02 ± 0.00
S6	-0.05 ± 0.02	-0.06 ± 0.01	-0.01 ± 0.01
Media	-0.03 ± 0.01	-0.06 ± 0.01	-0.02 ± 0.00

Tabla 2.15.- Máxima rotación externa del hombro e instante en que se produce (Fradet et al. 2004).

SUJETOS	Máxima rotación externa hombro (°)	Instante de la máx rotación
S1	-60 ± 5	-0.08 ± 0.02
S2	-16 ± 4	-0.04 ± 0.01
S3	-42 ± 3	-0.05 ± 0.01
S4	-42 ± 11	-0.05 ± 0.01
S5	-62 ± 9	-0.05 ± 0.00
S6	-26 ± 10	-0.05 ± 0.00
Media	-41 ± 18	-0.05 ± 0.01

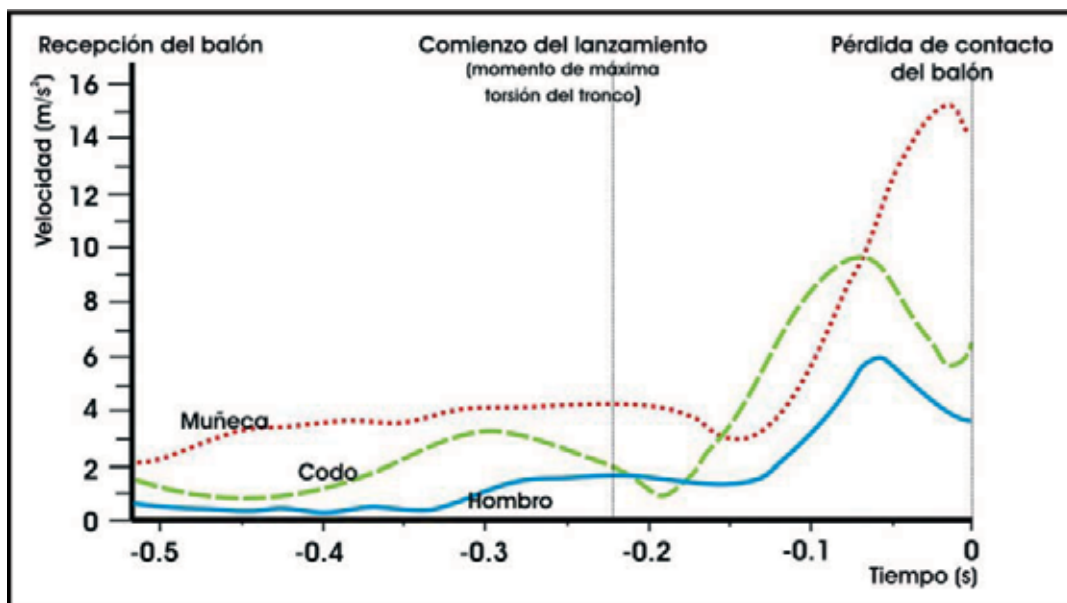


Figura 2.7.- Evolución de la velocidad lineal máxima del Hombro (V_{hombro}), Codo (V_{codo}) y Muñeca ($V_{muñeca}$) (Fradet et al. 2004).

2.4.- Planteamiento de la hipótesis

Partiendo del concepto de hipótesis que expone Gutiérrez-Dávila y Oña (2005), con su exposición en este apartado, lo que tratamos es de anticiparnos a los acontecimientos expresando lo que pensamos que va a ocurrir cuando sometamos a prueba el problema. Pero el planteamiento de la hipótesis científica requiere que se cumplan ciertos objetivos implícitos en el proceso de investigación. Siguiendo a Hayman (1981), estos objetivos se resumen en tres cuestiones o aspectos relevantes:

- a) Aclarar cuáles son las variables con las que nos encontramos en este estudio y la relación que existe entre ellas.
- b) Derivar en forma directa los objetivos del estudio, de modo que éstos constituyan la base de los procedimientos de actuación.
- c) Determinar y acotar los aspectos sustanciales del estudio, es decir, a qué se refiere y cómo hay que realizarlo.

Efectivamente, como indica Gutiérrez-Dávila y Oña (2005), para que la hipótesis científica adquiera la relevancia que se deriva de los objetivos expuestos, ésta debe cumplir una serie de condiciones que la distinguirán de la intuición, el indicio o nuestro propio presentimiento. Dichas condiciones se resumen en las siguientes: a) deben ser proposiciones generales empíricas, donde un solo dato o una sola experiencia no es suficiente para su formulación, b) los datos en los que se base necesitan, además, un soporte teórico para poder constituirse en hipótesis, c) deben ser hechos no sujetos, hasta ese momento, a la experiencia, d) empíricamente contrastables mediante procedimientos objetivos y e) corregibles a la vista del nuevo conocimiento, no siendo ninguna de ellas independiente de las demás.

Así, según los objetivos, condiciones y consideraciones expuestas en la revisión bibliográfica, consideramos adecuado exponer la hipótesis en los siguientes términos:

El efecto de la oposición de jugadores de campo en los lanzamientos en salto en balonmano incrementará la variabilidad de los factores biomecánicos relacionados con la eficacia de dichos lanzamientos, aunque debido a esa variabilidad no esperamos encontrar diferencias significativas claras entre las dos situaciones experimentales (sin y con oposición). Por el contrario, esperamos que existan

diferencias claras en las trayectorias y cambios de dirección desarrollados durante la carrera previa a los lanzamientos.

CAPÍTULO III

Método

MÉTODO

El método constituye una fase esencial del ciclo de aplicación del proceso científico, siendo su objetivo la exposición de todos aquellos datos necesarios para que otro investigador pueda llevar a cabo una réplica o un desarrollo similar de la presente investigación, así como constatar los resultados o discutir los procedimientos utilizados.

Para su organización formal, se ha dividido en dos apartados teniendo en cuenta la secuencia temporal exigida en este proceso de investigación: en el primero se expone el desarrollo de un estudio piloto que nos permitirá seleccionar el procedimiento seguido en la investigación principal, y en el segundo, se describen los sujetos, diseño, procedimiento, variables e instrumental utilizado en la investigación principal de esta tesis.

La necesidad de exponer un primer apartado, orientado a la elección de la situación experimental, constituye en sí mismo una investigación formal, necesaria para la selección de un procedimiento experimental que nos garantice una transferencia de conocimientos a la situación real de competición, por lo tanto, se trata de un análisis descriptivo de la competición, basado en técnicas de observación sistemática, que nos permitirán diseñar un procedimiento experimental basado en una situación real de juego, el cual será utilizado en la fase principal de la investigación.

3.1.- Estudio piloto para la elección de la situación experimental

El presente punto se ha organizado en cuatro apartados: en el primero se dedica a la introducción, donde se detallan los aspectos generales del estudio piloto realizado; el segundo es el método utilizado en dicho estudio; en el tercero se exponen los resultados obtenidos; y en el cuarto, se concluye y describe la situación experimental concreta obtenida, la cual será la que utilicemos en la investigación principal.

3.1.1.- Introducción

El lanzamiento en salto es un gesto técnico utilizado en muy diferentes situaciones de juego, por lo que su ejecución está mediatizada por una multitud de variables que van a impedir un análisis repetido del mismo en competición (Rojas, 1997). Las condiciones de oposición, así como la variabilidad que producen las condiciones del juego, provocan que los lanzamientos a portería estén dotados de matices diferentes, en cada uno de ellos, haciéndolos diferentes como consecuencia de la necesidad de adecuación y/o adaptación al juego. Por ello, y para controlar toda esta serie de variables, es necesario analizar este gesto en situación de competición, o en su caso, mediante un *protocolo* de intervención que se asemeje a la competición y extraiga, con la máxima fidelidad posible, una o varias situaciones de juego. Provocando, de esta manera, un análisis desde la perspectiva científica, bloqueando o controlando las variables no deseadas y respetando la génesis del juego.

Es importante que la situación experimental se extraiga de la propia competición y que ésta sea representativa de una situación real, de esta forma se podría garantizar la generalización de los resultados obtenidos y que el experimento tenga cierta validez científica.

En biomecánica deportiva es habitual utilizar situaciones experimentales que reproduzcan las condiciones de competición, así destacamos los trabajos de López (1995), Rojas (1997), Párraga (1999), Gómez Píriz (2000), Ramón (2002), donde al igual que en nuestro estudio, se definen y detallan protocolos experimentales para llevar a cabo las distintas investigaciones.

Para la obtención del protocolo de investigación se ha llevado a cabo un estudio, a partir del análisis de once partidos correspondientes al XVIII Campeonato del Mundo Senior Masculino de Balonmano, celebrado en Portugal (2003). Se han analizado, detalladamente, todos los lanzamientos en salto desde primera línea que se produjeron en todos los partidos observados, valorando y describiendo una serie de variables. Tras la obtención de los datos se han categorizado todos los lanzamientos observados para así saber, mediante análisis estadísticos, en qué condiciones se producía el lanzamiento que se daba con mayor frecuencia, respetando siempre las pautas de juego real. El objeto del protocolo de investigación es bloquear las múltiples variables que se dan en el juego real y que contaminarían los resultados de la investigación desde la perspectiva científica.

Por lo expuesto, el objetivo de este estudio ha sido detectar una situación técnico-táctica, que se repita durante el desarrollo de los partidos, donde exista lanzamiento en salto, con el propósito de hacer una réplica en una situación experimental que nos permita controlar las variables extrañas o contaminadoras del estudio.

3.1.2.- Método

En dicho estudio se ha utilizado el método descriptivo, y como instrumento se han empleado técnicas de observación sistemática, a través del análisis de los once partidos televisados por la cadena pública de Televisión Española.

Uno de los mayores problemas que conlleva este método de análisis es que la observación no se realiza "in situ", sino que se realiza a través de una retransmisión televisiva, en la que se pueden omitir, no intencionadamente, algunas secuencias del juego. En contrapartida hay que resaltar también, que para la observación pormenorizada utilizada en este estudio previo, fue necesaria la grabación de los partidos mediante un vídeo Daewoo VHS a 25 Hz, con el fin de describir y categorizar correctamente las jugadas. Debemos de considerar que la media de segundos que se perdían por partido, como consecuencia de los cortes publicitarios o repeticiones de jugadas, no llegaba a 50 s. Además, en la mayoría de las ocasiones estos cortes se realizaban en momentos de transición del juego, y muy pocas veces durante el desarrollo del juego.

La muestra estaba compuesta por jugadores de Selecciones Nacionales participantes en el citado Campeonato. Al ser jugadores de máximo nivel en competición internacional, nos ha permitido garantizar la significación de los resultados obtenidos. Los partidos observados no se han elegido al azar, sino que se han observado pormenorizadamente aquellos que se retransmitieron por Televisión Española. Así, de un total de 84 partidos, se han analizado once.

La media de edad y medidas antropométricas de los sujetos participantes era de 26 años con una desviación típica (SD) de 2.21 años, la talla media era de 1.89 m con una SD de 0.03 m y la masa media era de 88 kg con una SD de 5.22 kg. A este respecto, se han estudiado únicamente a los jugadores que formaban parte de los equipos titulares, resultando una muestra total de 132 jugadores de campo. No se han considerado los porteros, pues éstos no intervienen directamente en las situaciones de lanzamiento desde primera línea.

La observación se ha centrado en todos los lanzamientos a distancia en salto con tendencia vertical, con armado de brazo clásico (Párraga, 1999; Vizcaíno, 1978), tanto con armado del brazo por delante como con armado del brazo por detrás, realizados desde la 1ª línea atacante (9-11 m) considerando tanto los que finalizaron en gol como los errados.

Para el procedimiento de análisis de los partidos se han confeccionado unas hojas de observación, las cuales se presentan en el Anexo I. En primer lugar se localizaban los lanzamientos en salto desde primera línea atacante (9-11 m), señalando el minuto, segundos y el período del partido en el que acontecía. Se anotaba si se conseguía gol o no, el nombre del jugador que lo realizaba y, como aclaración, se

hacia un breve comentario de cada lanzamiento (muy bueno, potente, gran altura tras salto, rectificado, etc.). En segundo lugar, es decir, en la segunda visualización de los partidos se hacía el análisis detallado y pormenorizado. En esta visualización se obviaban los lanzamientos en salto rectificados con el fin de centrar al máximo el objeto de estudio elegido, lanzamientos en salto vertical con armado clásico, desde la 1ª línea atacante (9-11 m).

Las variables seleccionadas objeto de estudio fueron nueve: a) datos del jugador lanzador (diestro-zurdo, posición de central-lateral, etc.), b) existencia o no de oposición, c) distancia de dicha oposición al atacante (contacto parcial, gran contacto, no contacto), d) distancia aproximada desde donde se lanza hasta la portería, e) trayectoria seguida por el jugador antes del lanzamiento (diagonal, perpendicular a la portería, f) características del lanzamiento, en cuanto a altura (por encima de los adversarios) o profundidad, g) número de pasos dados por el lanzador antes de lanzar (tres, dos o uno), h) número de atacantes y defensores (bloqueo, pantalla, etc.) que intervienen de alguna forma en la situación de lanzamiento, e i) efectividad del lanzamiento (gol o no gol).

Los lanzamientos observados y analizados se fueron agrupando en categorías, que se definieron antes de comenzar las observaciones. De manera que al final de cada partido se tenían todos los lanzamientos agrupados y se podía comprobar qué categoría contaba con un mayor número de repeticiones. Se trataba de verificar qué categoría agrupaba más situaciones de lanzamiento análogas. Las situaciones de lanzamiento, además de ser descritas, se representaban gráficamente. Para dichas representaciones se ha utilizado la simbología específica del balonmano (Bárceñas y Román, 1991) que facilita la comprensión visual de la situación. Se han representado tanto a jugadores atacantes como los defensores que intervenían en la acción de lanzamiento.

Para garantizar la fiabilidad de los observadores se ha realizado el entrenamiento propuesto por Medina y Delgado (1999). Este entrenamiento de los observadores se ha dividido en dos partes íntimamente relacionadas: a) fase preparatoria y b) fase de entrenamiento.

a) Fase preparatoria: se ha compuesto de las siguientes actividades:

- a₁) Conocer la conducta a observar y comprender la definición operativa de la misma. En nuestro caso esta conducta ha sido el lanzamiento en salto desde primera línea atacante.
- a₂) Realizar un ejercicio práctico de observación en vídeo sobre grabaciones parciales de la conducta a observar, sin utilizar un esquema sistematizado de observación.
- a₃) Propiciar la discusión entre el investigador y los observadores, para hacerles reflexionar sobre las conductas que hayan obviado no intencionadamente.

- a₄) Conocer y explicar las categorías existentes sobre la conducta objeto de observación.
- a₅) Aclarar todas las dudas que puedan surgir sobre la conducta o sobre las categorías.
- a₆) Realizar ejercicios prácticos de observación en vídeo sobre grabaciones reales de la conducta a observar.

b) Fase de entrenamiento: el objetivo de esta fase ha sido realizar registros sobre la conducta a observar hasta conseguir un alto grado de acuerdo entre los distintos observadores. Se han tenido en cuenta las siguientes características:

- b₁) El entrenamiento progresará de menor a mayor complejidad. Comenzar con observaciones en vídeo sobre grabaciones parciales de la conducta y terminar con observaciones de duración real.
- b₂) A lo largo de todo el entrenamiento se calculará la confiabilidad. El grado mínimo de confiabilidad que es necesario que alcance un observador antes de participar en una investigación es de 80% (Medina y Delgado, 1999).

Tras este entrenamiento se pasó a las observaciones definitivas, siendo la coincidencia de los datos obtenidos tras las observaciones superior al 95%.

Las situaciones de lanzamiento, observadas y analizadas, se clasificaron en las siguientes categorías: a) *Acción individual sin procedimiento previo*, b) *Situaciones de inicio de juego: golpe franco*, c) *Situaciones de $x \triangleleft$ y $x \triangleleft$ con pivote en zona* y d) *Situaciones valorando acciones previas: finalización de un medio básico táctico colectivo (cruces, permutas,...)*. A continuación se describen estas categorías de forma detallada, y utilizando representaciones gráficas para facilitar su comprensión.

CATEGORÍA A: *Acción individual sin procedimiento previo*

Dentro de esta categoría se presentan dos situaciones:

- A₁) El jugador atacante \textcircled{B} que lanza desde 1ª línea no recibe un pase previo a su carrera, de ningún jugador de campo (salvo del portero), sino que él mismo comienza y finaliza la jugada. Un jugador defensor \triangleleft realiza oposición al lanzamiento. Sólo interviene directamente un jugador en el lanzamiento, habrá otros compañeros del que lanza que ayuden indirectamente a la eficacia del

lanzamiento, fijando u obstruyendo a la defensa. En la figura 3.1.A₁ se representa la situación expuesta.

A₂) El jugador atacante **B** recibe un pase, agota el ciclo de pasos, bota una o varias veces y a través de acciones técnicas (fintas, desmarques, cambios de dirección, giros, etc.), en acción individual, lanza a portería (figura 3.1.A₂).

CATEGORÍA B: *Situaciones de inicio de juego: Golpe franco*

En esta categoría se presentan tres situaciones:

B₁) El jugador atacante **A** lanza desde 1ª línea tras recibir el pase de un compañero **E** que ejecuta un golpe franco, a consecuencia de una falta cometida con anterioridad. Intervienen dos atacantes (lateral izquierdo y pivote) y dos defensores. en b₂ tres atacantes (extremo, lateral derecho y pivote) y tres defensores, y en b₃ intervienen dos atacantes (lateral derecho y extremo) y dos defensores (figura 3.2.B₁).

B₂) El jugador atacante **B** lanza desde 1ª línea tras recibir el pase de un compañero **E** que ejecuta un golpe franco, a consecuencia de una falta cometida con anterioridad. Intervienen tres atacantes (extremo, lateral derecho y pivote) y tres defensores. En la figura 3.2.B₂ se representa la situación expuesta.

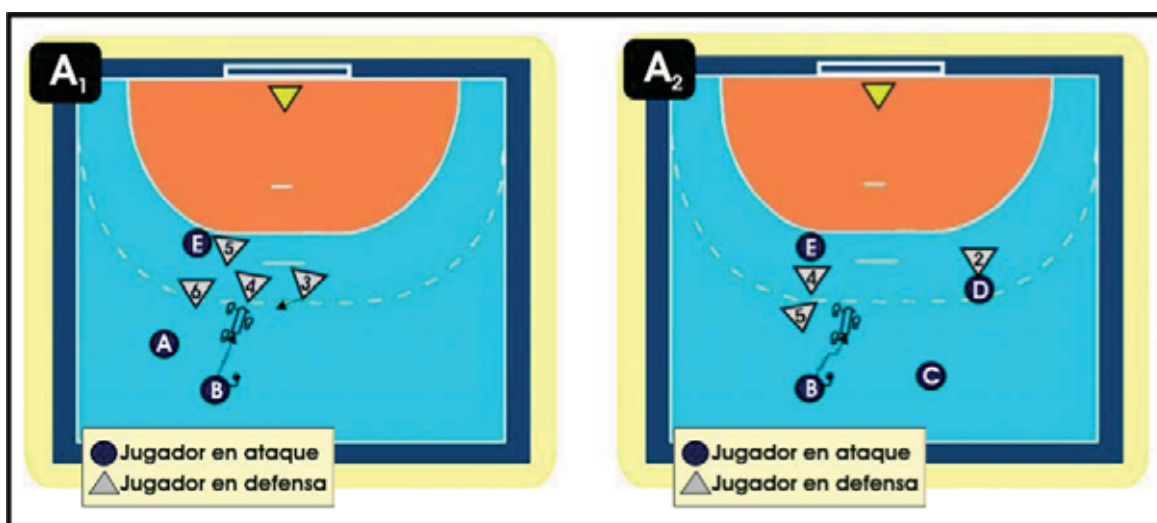


Figura 3.1.- Situaciones de lanzamiento correspondientes a la Categoría A (A_1 , A_2).

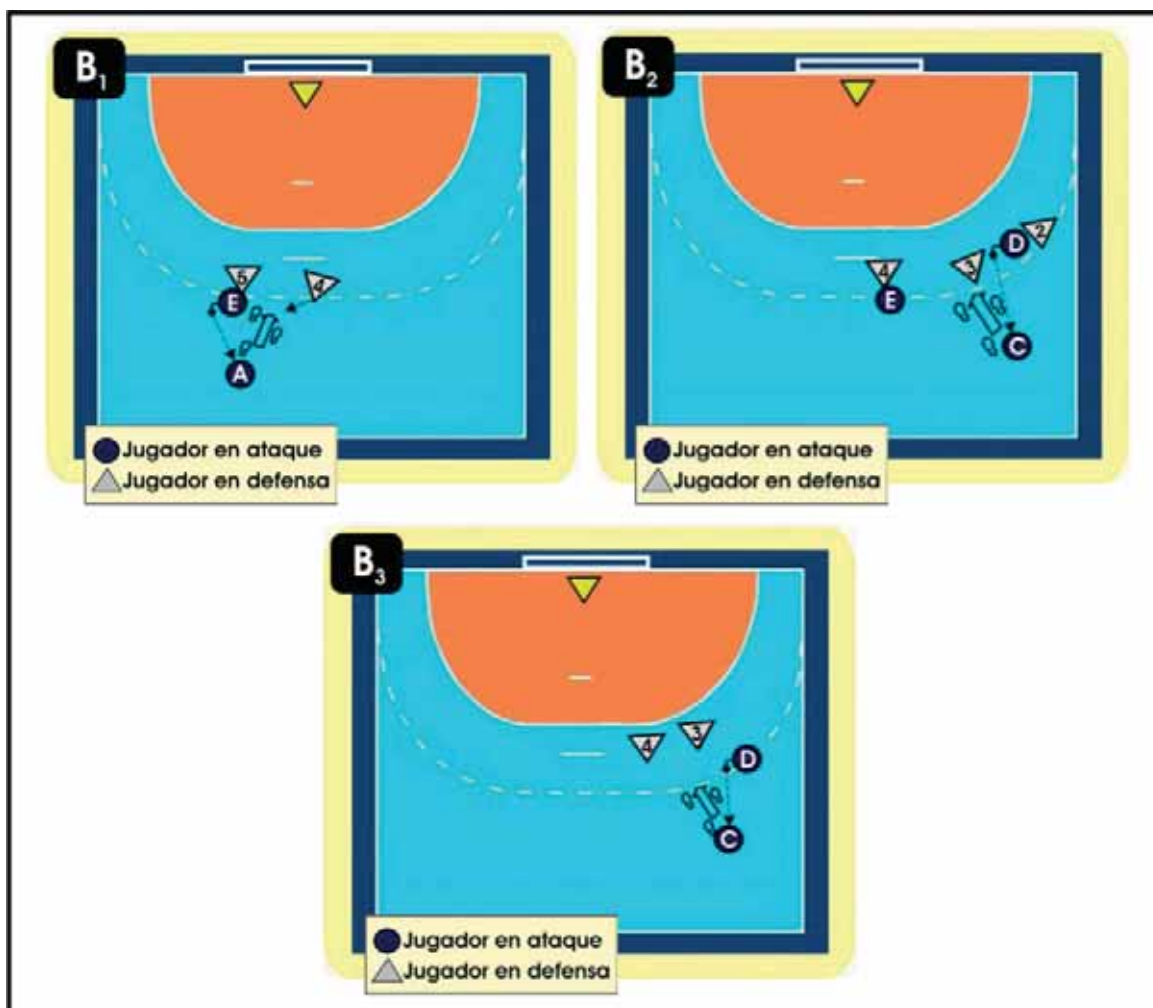













Figura 3.2.- Situaciones de lanzamiento correspondientes a la Categoría B (B₁, B₂, B₃).



B₃) El jugador atacante  lanza desde 1ª línea tras recibir el pase de un compañero  que ejecuta un golpe franco, a consecuencia de una falta cometida con anterioridad. Intervienen dos atacantes (lateral derecho y extremo) y dos defensores (figura 3.2.B₃).



CATEGORÍA C: *Situaciones de  y  con pivote en zona.*

Esta categoría se define mediante las siguientes situaciones, todas ellas muy similares:

C₁) El jugador  lanza desde 1ª línea tras recibir un pase previo a su carrera, de un jugador de campo  cercano a él. El pasador comienza la jugada y el lanzador la finaliza. Intervienen directamente dos jugadores (pasador y lanzador) en el lanzamiento, habrá otros compañeros del que lanza y del que realiza el pase que ayuden indirectamente a la eficacia del lanzamiento, en este caso hay otro jugador  encargado de fijar (bloquear) a uno de los dos defensores. En la figura 3.3.C₁ se representa la situación expuesta.

C₂) El jugador  lanza desde 1ª línea tras recibir un pase previo a su carrera, de un jugador de campo  cercano a él. Intervienen dos defensores y tres atacantes. El defensor  sale al encuentro del lanzador  para obstaculizarle el lanzamiento. En la figura 3.3.C₂ se representa la situación expuesta.

C₃) El jugador  lanza desde 1ª línea tras recibir un pase previo a su carrera, de un jugador de campo  cercano a él. Es una situación similar a las anteriores aunque intervienen jugadores distintos. Intervienen dos defensores y tres atacantes. En la figura 3.3.C₃ se muestra la situación expuesta.

C₄) El jugador  lanza desde 1ª línea tras recibir un pase previo a su carrera, de un jugador de campo  cercano a él. Intervienen tres defensores y tres atacantes. En esta situación se observa una mayor oposición por parte del equipo contrario. En la figura 3.3.C₄ se representa la situación expuesta.

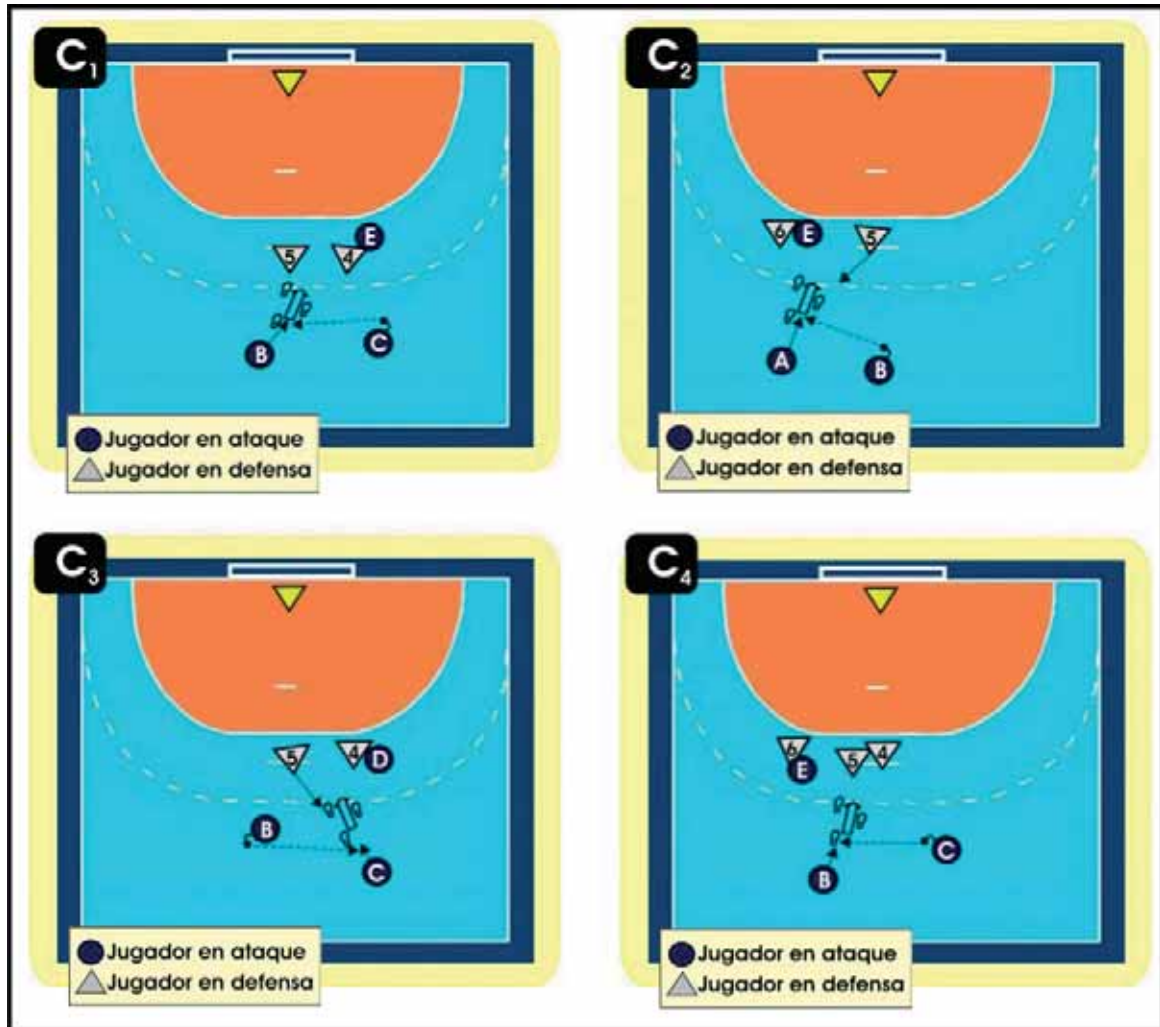


Figura 3.3. Situaciones de lanzamiento correspondientes a la Categoría C (C₁, C₂, C₃, C₄).

CATEGORÍA D: *Situaciones valorando acciones previas: finalización de un medio básico táctico colectivo (cruces, permutas, etc.)*

Dentro de esta categoría D hemos incluido las situaciones siguientes:

- D₁) El jugador **A** lanza desde 1ª línea tras recibir un pase, previo a su carrera, de un jugador **B** que se cruza en su recorrido. Intervienen directamente dos jugadores (pasador y lanzador) en el lanzamiento, aunque habrá otros que ayuden indirectamente a la eficacia del lanzamiento, fijando o bloqueando a la defensa. En esta situación, concretamente, intervienen dos atacantes y dos defensores. En la figura 3.4.D₁ se representa la situación expuesta.
- D₂) El jugador **A** lanza desde 1ª línea tras recibir un pase previo a su carrera, de un jugador **B** que se cruza en su recorrido. En esta situación intervienen dos atacantes y tres defensores, los cuales ejercen bastante oposición al lanzador. En la figura 3.4.D₂ se representa la situación expuesta.
- D₃) El jugador **C** lanza desde 1ª línea tras recibir un pase previo a su carrera, de un jugador **B** que se cruza en su recorrido. En esta situación intervienen tres atacantes y dos defensores. El jugador atacante **E** intenta obstruir o fijar al defensor **4**. En la figura 3.4.D₃ se muestra la situación.
- D₄) El jugador **A** lanza desde 1ª línea tras recibir un pase previo a su carrera, de un jugador **E** que se cruza en su recorrido. En esta situación también intervienen tres atacantes y dos defensores. El jugador atacante **C** intenta obstruir o fijar al defensor **3**. En la figura 3.4.D₄ se muestra la situación.

Como podemos observar, en las figuras 3.4.D₁, D₂, D₃, y D₄, se representa la misma situación aunque con mínimas diferencias. La diferencia entre D₁ y D₂ es la oposición que ejerce la defensa, en D₁ el defensor **4** sale al encuentro del lanzador **A**, mientras que en D₂ la defensa se queda junto a la línea de 6 metros para bloquear el lanzamiento. La diferencia entre D₃ y D₄ estriba en la dirección del cruce.

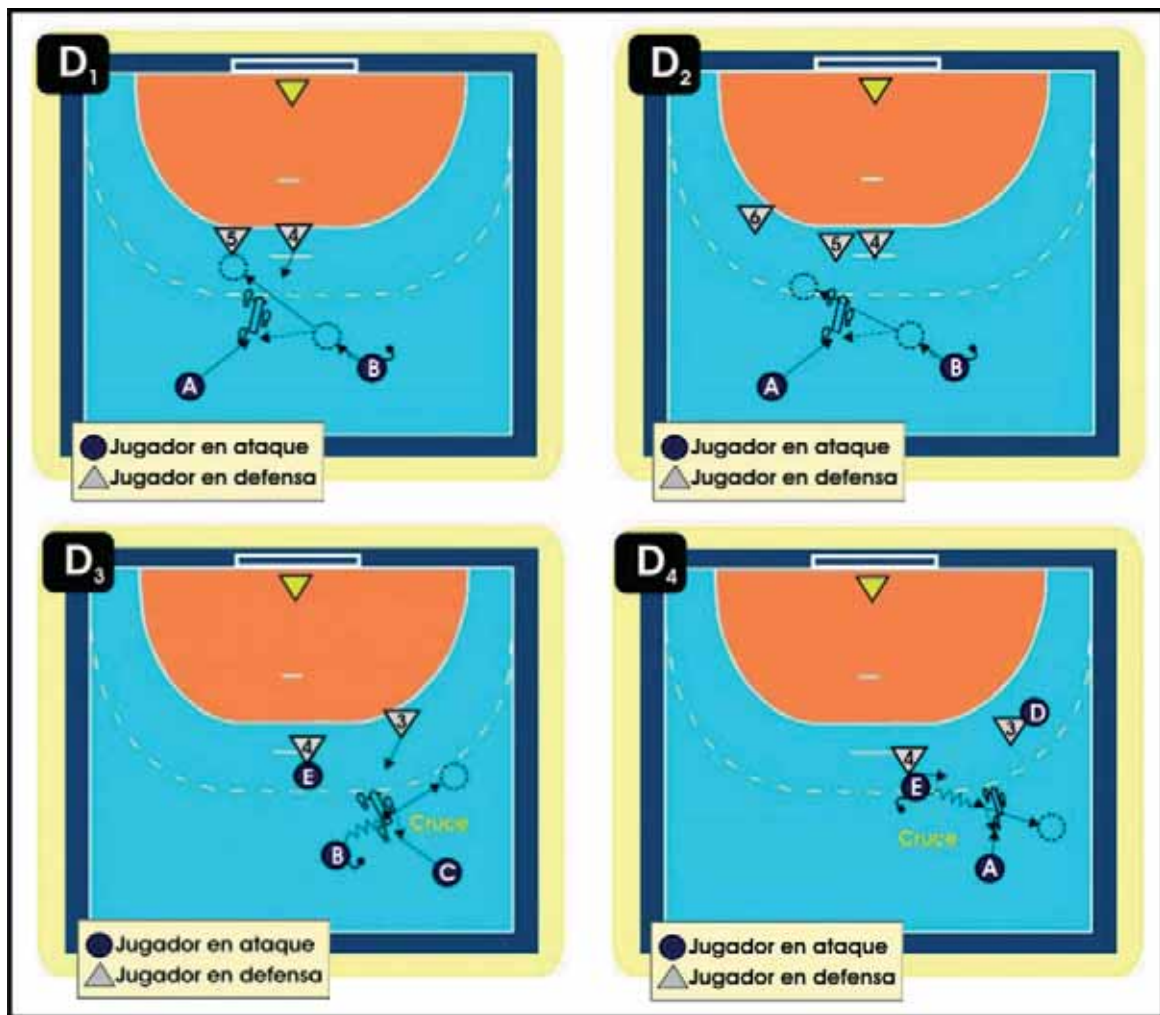


Figura 3.4.- Situaciones de lanzamiento correspondientes a la Categoría D (D_1 , D_2 , D_3 , D_4).

Entendemos por cruce, el medio táctico-colectivo básico que pretende superioridad numérica atacante buscando el error en el cambio de oponente, o retraso de la intervención defensiva mediante el cruce de las trayectorias de dos jugadores, en el cual el jugador que portaba el balón inicialmente lo pasa al otro. (Antón, 1990).

La categoría que tomaremos de referencia para definir el protocolo para la presente tesis, será aquella que englobe más situaciones análogas de lanzamiento en salto desde primera línea atacante.

3.1.3.- Resultados

En la tabla 3.1. se presentan los resultados obtenidos para cada categoría. En ella se puede observar que la categoría más habitual en la competición era la categoría C (situaciones de $x \triangle y$ y $x \triangle$ con pivote en zona) con un total de 140 situaciones de lanzamiento, lo que representaba el 45.3 % del total de lanzamientos en salto desde primera línea analizados. Por lo tanto, la categoría C es la que se repite con mayor frecuencia en competición.

A continuación, y con el fin de justificar correctamente el protocolo obtenido, en la tabla 3.2. se presentan los datos más relevantes de las variables analizadas en cada una de las categorías.

Se observa que en las categorías donde hay mayor porcentaje de lanzamientos con oposición es en la B y C, con un 92% y 86%, respectivamente. Donde se da más contacto parcial de la oposición es también en la B y C, con un 56% y 55% respectivamente.

En cuanto a la trayectoria seguida por el jugador justo antes de realizar la acción de lanzamiento, las categorías C y D son las que presentan un mayor porcentaje de lanzamientos con trayectoria diagonal.

Tabla 3.1.- Resultados obtenidos sobre el número de veces que se repiten las cuatro categorías propuestas, donde N° S.L.S. 1ª corresponde a las situaciones dadas en cada categoría que culminaron con lanzamiento en salto desde la 1ª línea atacante y % S.L.S. 1ª, corresponde a dicho valor expresado en porcentaje del número total de situaciones observadas.

CATEGORÍAS	N° S. L. S. 1ª	% S.L.S.1ª
A	55	17,8 %
B	26	8,42 %
C	140	45,3 %
D	88	28,48 %

Tabla 3.2.- Comparativa de los resultados de las variables observadas más importantes en las cuatro categorías.

VARIABLES OBSERVADAS		CATEGORÍAS			
		A	B	C	D
Existencia o no de oposición	Sí	72%	92%	86%	66%
	No	28%	8%	14%	34%
Distancia de la oposición	No contacto	40%	16%	30%	36%
	Contacto parcial	35%	56%	55%	52%
	Gran contacto	25%	28%	15%	12%
Trayectoria seguida justo antes del lanzamiento	Diagonal	60%	38%	90%	95%
	Frontal	40%	62%	10%	5%
Lanzamiento en altura o en profundidad	Altura	62%	83%	70%	61%
	Profundidad	38%	17%	30%	39%
Número de pasos dados por el lanzador justo antes de lanzar (uno, dos o tres)	Uno	0%	27%	15%	14%
	Dos	34%	58%	50%	64%
	Tres	66%	15%	35%	22%
Porcentaje de efectividad del lanzamiento	Gol	36%	41%	39%	38%
	No Gol	64%	59%	61%	62%

En cuanto a la altura o profundidad del lanzamiento, la categoría B es la que presenta un mayor porcentaje de lanzamientos en altura, con un 83%, seguida de la C, con el 70% del total de los lanzamientos.

La tónica general sobre el número de pasos que se dan previos al lanzamiento, es de dos pasos en las categorías B, C y D. En la categoría A se da un mayor porcentaje de lanzamientos dando tres pasos previos. El porcentaje de efectividad en los lanzamientos es similar en las cuatro categorías, destaca la A, con un 64% de efectividad, con respecto a las otras tres categorías.

3.1.4.- Propuesta de la situación experimental

A la vista de los resultados, el protocolo que se concluyó en el estudio, y el cual utilizaremos en la presente tesis, es el que se corresponde con la categoría C, es decir, situaciones de $x \triangle 2$ con pivote en zona (figura 3.5.). Para la elección del protocolo se han seguido dos criterios principales: a) que fuese la situación de lanzamiento desde primera línea más usual, que más veces se repitiese; y b) que cumpliese los requisitos de existencia de oposición.

En el protocolo elegido (figura 3.5.) se observan tres jugadores atacantes y dos defensores. El jugador atacante **B**, en posesión del balón, efectúa un pase al jugador **A** que viene en carrera, y una vez que recibe el balón realiza la carrera previa al salto (0, 1, 2, o 3 pasos) para preparar la fase de lanzamiento. El jugador atacante **E** se encarga de fijar al defensa **△**, y el defensa **△** se encarga de defender el lanzamiento en salto del atacante **A**.

A continuación se detallan, con más exactitud, las características de la situación de lanzamiento observada y que definen el protocolo:

- **Existencia o no de oposición y distancia de la oposición:** Se constató que en la mayoría de situaciones de lanzamiento había oposición defensiva y que en la mayoría de ocasiones existía un contacto corporal parcial. Es decir, la defensa contacta con el lanzador, pero éste podía culminar su acción de lanzamiento. El contacto se producía en la fase final del lanzamiento, concretamente durante el vuelo y casi coincidiendo con la suelta del balón.
- **Distancia de lanzamiento con respecto a la portería:** La distancia varía, aunque el umbral de lanzamientos se encuentra entre 9 y 11 m, tomando como referencia la batida del jugador y la portería. Podemos decir que el lanzador empieza el desplazamiento a una distancia aproximada de 14-15 metros y a los 13 metros, aproximadamente, recibe el pase del compañero.

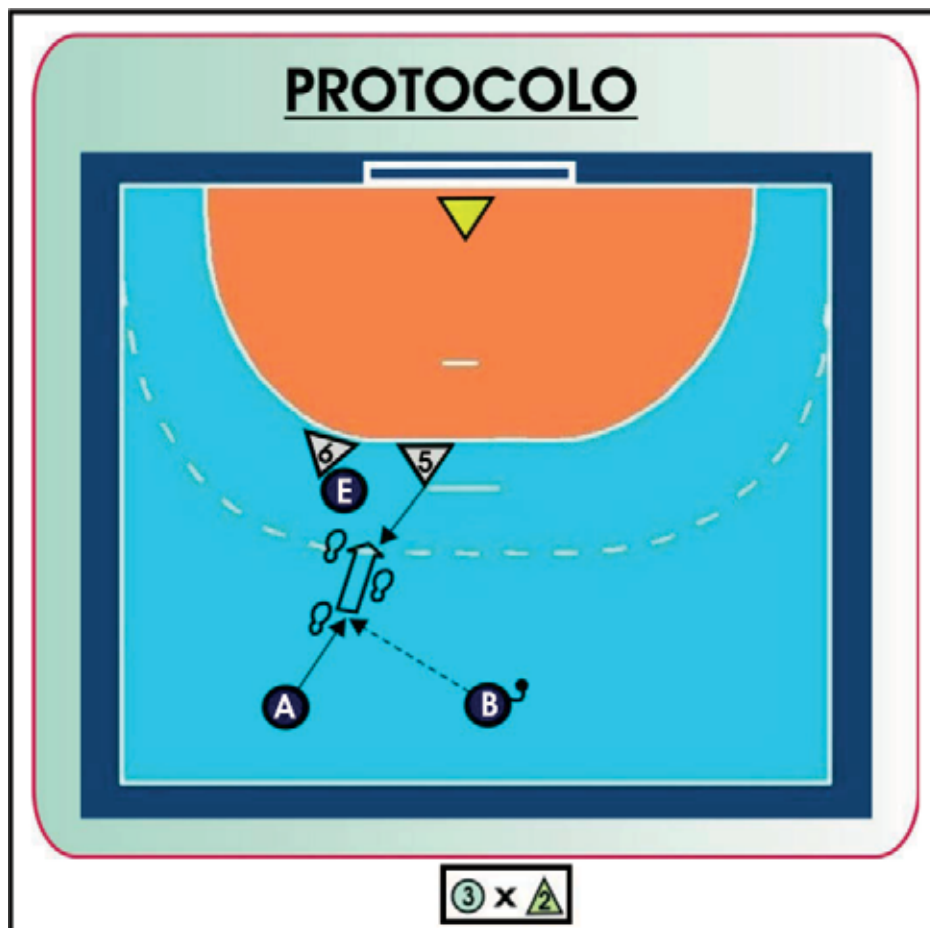


Figura 3.5.- Protocolo obtenido correspondiente a la Categoría C.

Para el protocolo se deberá determinar una zona (un cuadrado marcado con tiza o alfombra) desde la cual siempre lancen los jugadores. A este tipo de lanzamientos se les considera de larga distancia y priorizan la velocidad de salida del balón y la localización de éste en la portería.

- **Trayectoria seguida antes del lanzamiento:** La trayectoria que debe seguir el lanzador, en el protocolo, es diagonal con respecto a la portería, pues, en la situación real en un 90% de las veces se realizó de esta manera, aunque se debería dejar cierta libertad de acción con respecto a los cambios de dirección o sentido que pueda realizar el lanzador.
- **Posición del lanzador:** La posición del lanzador de primera línea más repetida ha sido la de lateral (derecho e izquierdo), aunque también se han observado intentos desde la posición de central.
- **Lanzamiento en altura** (por encima de los adversarios) o **en profundidad** (pasa entre los adversarios): Deberá ser un lanzamiento buscando altura, evitando el salto en profundidad.
- **Número de pasos realizados por el lanzador antes de lanzar** (tres, dos, uno o cero): En un 50% de las situaciones analizadas, el jugador lanza tras realizar dos pasos, y en un 35% tras tres pasos. Por tanto, en el protocolo se les dirá a los jugadores que realicen dos y/o tres pasos. En punto cero no se ha observado ninguna situación de lanzamiento en salto a distancia, y con un paso el porcentaje es bastante bajo, pues no supera el 15%. Recordar que si se quiere finalizar batiendo con el pie contrario al brazo ejecutor, el pie con el que se inicie el ciclo de pasos es importante.
- **Número de jugadores que intervienen directamente en la situación de lanzamiento:** Hemos constatado que la situación que más se ha manifestado es aquella en la que aparecen tres atacantes y dos defensores. Aunque también se han dado situaciones muy similares con dos atacantes y dos defensores.
- **Porcentaje de efectividad del lanzamiento** (gol o no gol): El 39% de las veces se ha conseguido gol. Esta variable se tendrá en cuenta a la hora de contabilizar algunos lanzamientos. Se analizarán sólo los lanzamientos que consigan éxito de gol.

3.2.- Características generales del método en la investigación principal

Para el análisis de las habilidades deportivas, desde la perspectiva de la biomecánica, se utilizan múltiples y variadas técnicas. La mayoría de ellas se basan en la obtención de los parámetros que definen la localización espacial del cuerpo humano, considerado como el sistema objeto de estudio (Soto, 1995). La obtención de dichos parámetros puede realizarse mediante dos formas de registro: a) registros **directos**, cuando no se requieren procesos intermedios para el estudio de un movimiento deportivo, los parámetros se van obteniendo de forma simultánea a la realización de la actividad, posibilitando dar información útil al deportista instantes después de haber finalizado el gesto. Se basan en sistemas de visión artificial y de reconocimiento inteligente de marcadores corporales activos y/o pasivos de forma automatizada. Reducen el error aleatorio, pero dichos marcadores, colocados sobre el deportista podrían interferir en la ejecución del gesto y restarían similitud con las condiciones de competición (Gutiérrez, 1990; Soto, 1995), y b) registros **indirectos**, cuando se requieren procesos intermedios en el estudio del movimiento deportivo. Tienen el inconveniente del excesivo tiempo del proceso intermedio para la obtención del registro y la manipulación de los datos por parte del experimentador. Su ventaja es que no suelen afectar al movimiento ya que generalmente son registros de tipo externo.

En nuestro estudio hemos utilizado el registro indirecto como proceso de obtención de las variables cinemáticas, ubicado fuera del sistema biológico de estudio (filmación mediante video). Este es uno de los sistemas de registro de mayor aplicación en Biomecánica Deportiva, pues posibilita el análisis del movimiento en condiciones competitivas sin que el deportista se vea afectado (Plagenhoef, 1971), aunque el proceso de digitalización de imágenes se haga mediante un tratamiento manual con el posible error aleatorio y/o sistemático que supone la no automatización de todo el proceso de digitalización.

Debido a las dificultades que entraña la tarea de digitalización, las técnicas fotogramétricas se han utilizado para el análisis del lanzamiento, mientras que para el estudio de los desplazamientos previos se han utilizado técnicas de observación sistemática.

Para abordar un estudio mediante el método científico es necesario controlar la aparición de contingencias externas (variables contaminadoras) al propio estudio. En biomecánica deportiva, para asegurar los requisitos de validez y controlar estas variables extrañas, los estudios se suelen centrar en gestos motrices discretos o de *bucle cerrado* (Singer, 1986), que se caracterizan por tener un principio y final perfectamente delimitado y conocido. Entre estos gestos se encontrarían los lanzamientos o golpes de tipo balístico y los gestos cíclicos como la carrera, marcha, ciclismo, etc., los cuales pueden ser analizados en competición sin la

interferencia de otras variables.

Sin embargo, en la presente investigación, se estudia un gesto propio de un deporte de equipo, que se caracteriza por la utilización de acciones motrices de *bucle abierto* (Singer, 1986), sometidas a todo tipo de contingencias externas, reafuerzos y mecanismos atencionales.

El análisis biomecánico de este tipo de gestos motrices implica la dificultad de estudio en situaciones reales de competición que, si no son controladas, pueden invalidar el análisis.

El gesto técnico elegido corresponde a una acción muy utilizada en balonmano, la cual está mediatizada por multitud de variables que impiden la realización de un análisis repetido del mismo gesto técnico en situación real de competición, por las condiciones reglamentarias de este deporte y, fundamentalmente, por el componente *oposición*. Por todo esto, y al objeto de poder controlar todas las variables que puedan adulterar los datos obtenidos en el experimento, es necesario analizar este gesto, mediante un *protocolo* que busque la mayor similitud a la competición institucionalizada, consiguiendo un control de las variables manipuladas y al mismo tiempo, mantener constantes las variables que inciden en él y que no nos interesa medir en el presente estudio. Este protocolo se ha obtenido a partir del estudio piloto expuesto en el apartado anterior, lo que garantiza la similitud de la situación experimental a las condiciones reales de competición.

En cuanto al grado de consistencia temporal del gesto y el nivel de activación de los sujetos, se ha procurado que el procedimiento se asemeje al máximo a la competición. La consistencia temporal creemos haberla resuelto, al utilizar como muestra sujetos de un nivel técnico elevado, especialistas en balonmano, con experiencia en el campo de la competición y solicitándoles un concreto modelo de ejecución. El grado de activación, si bien no puede considerarse exactamente de competición, sí puede catalogarse como suficiente y estable.

3.2.1.- Sujetos de estudio

La muestra que se ha utilizado para realizar esta investigación ha estado compuesta por 11 jugadores especialistas en lanzamientos a distancia, un pivote, un pasador, dos defensores y un portero, los cuales completaban los jugadores necesarios para realizar el protocolo seleccionado. Todos los jugadores de balonmano pertenecían al equipo de balonmano de la Universidad de Granada integrado en la División de Honor "B" Masculina (Temporada 2003-2004). Todos ellos eran especialistas en lanzamientos de larga distancia, con una edad media de 23,82 años ($\pm 3,06$), talla media de 1.86 m (± 0.069) y una masa media de 84.36 kg ($\pm 10,93$) (tabla 3.3.). Los lanzamientos seleccionados han sido todos aquellos

que han acabado en gol durante la sesión de filmación. Se filmaron los lanzamientos necesarios hasta que cada jugador conseguía dos goles, en cada situación experimental.

3.2.2.- Diseño

Se puede decir que el diseño de una investigación es el conjunto de reglas a seguir por el investigador para obtener observaciones sistemáticas y no contaminadas sobre la posible relación existente entre las variables, permitiendo al investigador comprobar si existen efectos sistemáticos de la variable independiente sobre la dependiente y ayudándole a controlar las potenciales variables contaminadoras (Pereda, 1987).

Cada investigación requiere un modelo especial de diseño que depende de las decisiones previas tomadas por el investigador, en cuanto a la selección de los grupos experimentales, la aplicación de los respectivos tratamientos y la utilización de determinadas pruebas estadísticas, en función de los propósitos de la investigación. Una investigación experimental se identifica con el empleo de un diseño adecuado, siendo la clave de éste planear el experimento de tal modo que los efectos de la variable independiente sobre la dependiente se pueden evaluar de forma inequívoca (Underwood, 1957).

En definitiva, el diseño constituye un aspecto importante dentro de la dinámica del trabajo científico, marcando la estrategia a seguir por el investigador para la adecuada solución del problema que tiene planteado, teniendo como finalidad primordial, permitir al investigador obtener respuestas inequívocas para los objetivos que han dado lugar a la investigación. En nuestro caso, el diseño de la presente investigación, es un diseño de grupo de medidas repetidas (A-B).

Tabla 3.3.- Características de los jugadores objeto de estudio.

SUJETOS	TALLA (M)	MASA (Kg)	EDAD (Años)	EXPERIENCIA (Años competición)	PUESTO ESPECÍFICO	CLUB
S1	1.72	70	24	12	Extremo	Universidad Granada
S2	1.89	82	23	11	Pivote	Universidad Granada
S3	1.80	75	22	9	Lateral	Universidad Granada
S4	1.79	73	23	10	Central	Universidad Granada
S5	1.88	80	20	9	Lateral	Universidad Granada
S6	1.90	94	30	17	Lateral	Universidad Granada
S7	1.89	89	29	12	Lateral	Universidad Granada
S8	1.89	87	23	9	Lateral	Universidad Granada
S9	1.93	102	24	10	Lateral	Universidad Granada
S10	1.81	76	23	10	Central	Universidad Granada
S11	1.95	100	21	8	Pivote	Universidad Granada
Media	1.86	84.36	23.82	10.64		
SD	0.069	10.93	3.06	2.461		

La variable que se manipula (variable independiente) se ha identificado con la oposición que recibe el sujeto en el lanzamiento a portería. En la fase A se ha aplicado el nivel de la variable independiente, *sin oposición*, y en la fase B se ha procedido de igual forma, con el nivel de la variable independiente, *con oposición*. Las variables que se medirán (variables dependientes) son los factores biomecánicos relacionados con la eficacia del lanzamiento en salto, medidas mediante técnicas fotogramétricas tridimensionales y las estrategias de acción o movimientos previos del jugador antes de realizar el lanzamiento, medidos mediante técnicas de observación sistemática. En la figura 3.6., se representa el diseño experimental desarrollado en el presente trabajo.

Los datos obtenidos se han analizado a través de la estadística descriptiva, aportando medias y desviaciones típicas, y a través de un análisis inferencial, aplicando la prueba de análisis de la varianza (ANOVA) para medidas repetidas, con el fin de valorar los efectos de las variables independientes sobre las dependientes.

3.2.3.- Técnicas de registro

En el desarrollo de esta tesis se han utilizado dos técnicas básicas de registro: a) las técnicas de observación sistemática, que nos permitirán describir los movimientos previos a la realización del salto y el lanzamiento, y b) las técnicas fotogramétricas tridimensionales, las cuales nos permitirán cuantificar los factores de eficacia en la ejecución del salto y el lanzamiento.

Según lo expuesto, el presente apartado, dedicado a la descripción de las técnicas de registro, se ha organizado en dos grandes subapartados, referidos cada uno de ellos al desarrollo de los dos sistemas de registro utilizados, el primero dedicado a las técnicas de observación sistemática y el segundo a las técnicas fotogramétricas tridimensionales.



Figura 3.6.- Representación esquemática del diseño experimental desarrollado.

3.2.3.1.- TÉCNICAS DE OBSERVACIÓN SISTEMÁTICA

La realización de un estudio experimental que abarque el contexto general del juego de balonmano, conlleva una complejidad difícil de salvar y obliga a utilizar el análisis descriptivo y experimental a la vez. El utilizar la metodología de observación ayudará a complementar y corroborar los resultados que se obtengan de la principal perspectiva de análisis en la presentes tesis, que es la biomecánica deportiva.

El análisis del lanzamiento en salto a distancia con y sin oposición defensiva, se llevará a cabo bajo la perspectiva principal de la *Biomecánica Deportiva*, a partir de las técnicas fotogramétricas, aunque también se utilizará como técnica complementaria de análisis la *Metodología de Observación*. La utilización de esta metodología de observación ayudará a complementar y corroborar los resultados que se obtengan de las técnicas fotogramétricas.

Se puede afirmar que la observación es el procedimiento mediante el cual es posible obtener información de diversos acontecimientos o hechos, siendo necesaria la utilización de diferentes técnicas que ayuden a la percepción del observador (Medina y Delgado, 1999).

Según Anguera (1989), la ciencia comienza con la observación. Es un hecho innegable que la observación es el más antiguo y más moderno método de recogida de datos. La observación ocupa un lugar muy importante dentro de la ciencia ya que ha sido y es la base de la recogida de datos en la investigación científica. Para estudiar un fenómeno desconocido se comienza observando el hecho en su ambiente natural y después, se describe con la mayor precisión posible, para concluir controlándolo mediante técnicas experimentales o mediante técnicas de simulación.

Para Boudon (1967), el método de observación tiene entidad suficiente para la obtención de un conocimiento científico, que tiene por objetivo no sólo describir una conducta o situación, sino también llegar a explicarla convenientemente y establecer relaciones de causalidad, aunque para ello se tengan que utilizar técnicas más o menos sofisticadas de observación y registro.

Según Gorospe (1999) la importancia de la metodología observacional en el deporte se puede comprender si se analiza el contexto donde tiene lugar la actividad deportiva. Las múltiples variables que concurren en la competición deportiva, la interacción que se produce entre ellas durante la práctica, y la dificultad de controlar los efectos de las variables contextuales, nunca idénticas de una situación a otra, aconseja el empleo de la metodología observacional.

El método de observación o método descriptivo (Pereda, 1987) tiene dos características típicas: a) se lleva a cabo en el ambiente natural, en nuestro caso, mediante un protocolo que reproduce una situación real de juego, y b) el observador debe mantenerse apartado del lugar donde ocurren los hechos con el fin de no

alterar el fenómeno observado, en nuestro caso, hemos procurado no interferir en el proceso a partir de las medidas que hemos considerado más adecuadas y que se describirán más adelante.

Siguiendo con las observaciones hechas por Pereda (1987), nos habla de ventajas y desventajas de los métodos descriptivos. En este sentido comenta que el método observacional es muy utilizado en las primeras fases de la investigación, cuando sólo se pretenden obtener algunas ideas orientativas sobre el problema. Es, por tanto, una técnica fundamentalmente descriptiva y con su utilización no se van a poder establecer correlaciones entre las distintas variables, ni averiguar cuál es la causa de los fenómenos que se observan. Sin embargo, en muchas ocasiones, en una investigación sólo se va a poder emplear un método descriptivo.

Los métodos descriptivos se van a utilizar, sobre todo, para clarificar y definir el problema que se está investigando, de forma que quede perfectamente estructurado para un posterior estudio más riguroso en el que se aplicarán otros métodos más poderosos, como el experimental, siempre que sea posible.

Según Pereda (1987), cuatro son las funciones principales que pueden desempeñar los métodos descriptivos: a) ayudar a identificar importantes fenómenos conductuales, b) sugerir posibles conductas que más tarde pueden ser estudiadas por medio de experimentos adecuados, c) sugerir posibles factores a manipular en posteriores estudios experimentales y d) utilizarse como instrumentos de estudio cuando no pueden ser utilizados los métodos correlacionales o experimentales.

Según se desprende de las aportaciones de Selltiz et al. (1965), las técnicas de observación se convierten en técnicas científicas en la medida en que: a) sirven a un objetivo ya formulado de investigación, b) se planifican sistemáticamente, c) se controlan y relacionan con proposiciones más generales en vez de presentarlas como una serie de curiosidades interesantes y d) están sujetas a comprobaciones de validez y fiabilidad

Colas (1992) considera que la observación constituye un método científico siempre que reúna las siguientes características: a) *intencional*, cuando se realiza previamente el planteamiento sobre qué es lo que se va a observar, a quién, en qué condiciones y cuáles son los comportamientos que queremos registrar, b) *estructurada* y c) *controlada*, cuando la observación es objetiva y comprobable.

Delgado (1994) matiza que dentro de la observación se pueden distinguir tres niveles de sistematización:

- a) *Observación asistemática*: Se basa en una constatación directa, sin ningún objetivo claramente definido, sin un orden o planificación. Son relatos escritos en forma directa o datos recogidos de una manera equivocada. No obedece a ninguna regla.

- b) *Observación semisistemática*: Los objetivos del registro se fijan a priori, se planifica el orden y el tiempo, especificándose la conducta antecedente, el núcleo observado y la conducta posterior, sin embargo, no están categorizadas las conductas objeto de observación.
- c) *Observación sistemática*: Trata de agrupar la información a partir de criterios fijados. Precisa categorizar los hechos, conductas y/o eventos que se pretenden observar.

En el deporte es importante la utilización de la metodología observacional, tanto si se emplea como método o como técnica de recogida de datos. De hecho en nuestro trabajo, nos basaremos en los principios de la metodología observacional, y más específicamente, en la técnica de la observación sistemática.

Al emplear este método descriptivo o método observacional pretendemos focalizar nuestro objeto de estudio y sentar las bases del cuerpo principal del trabajo, que se desarrollará bajo una metodología experimental al amparo de la perspectiva de investigación de la Biomecánica Deportiva. También pretendemos que los datos observacionales nos aporten información sobre aquellos aspectos que no podamos analizar a través de la Biomecánica Deportiva.

Desde la metodología observacional se han analizado, por medio del vídeo, un total de 34 lanzamientos, 17 con oposición y 17 sin oposición. En primer lugar se establecieron y describieron las categorías o variables a observar y se elaboró una planilla u hoja de registro (Anexo III), la cual fue supervisada y analizada por 4 Entrenadores Nacionales de balonmano y 6 Licenciados en Educación Física. Como instrumentos de registro de los datos, se ha empleado una lista de control con opciones cerradas (sí/no) y una escala de estimación, donde a la conducta de estudio se le asignó una escala de intensidad subjetiva con 6 niveles de respuesta (desde 0 que indica nada, ninguno, nulo/a, etc., a 5 que indica mucho, máximo/a o total).

Las variables observadas, desde el punto de vista observacional, se han explicado detalladamente para que los observadores no tuvieran ninguna duda a la hora de analizar los lanzamientos, a continuación se describen las variables tenidas en cuenta:

A) Referidas al **ciclo de pasos** y a la **trayectoria** seguida **antes** de la **batida**:

A₁) **Dos pasos** de carrera antes de la batida (2P): El jugador realiza dos apoyos desde que recibe el balón hasta el momento de la pérdida de contacto del pie de batida con el suelo.

- A₂) **Tres pasos** de carrera antes de la batida (3P): El jugador realiza tres apoyos desde que recibe el balón hasta el momento de la pérdida de contacto del pie de batida con el suelo.
- A₃) **Trayectoria frontal** (TF): Cuando la trayectoria del desplazamiento del jugador con balón es perpendicular a la línea de portería.
- A₄) **Trayectoria lateral** (TL): Cuando la trayectoria del desplazamiento del jugador con balón es paralela a la línea de portería.
- A₅) **Trayectoria diagonal** (TD): Cuando la trayectoria del desplazamiento del jugador con balón es oblicua a la línea de portería.
- A₆) **Trayectoria combinada** (TC): Cuando se realizan simultánea o alternativamente una trayectoria frontal y una lateral o viceversa.
- A₇) **Cambios de dirección** (CD): Durante el desplazamiento se produce una ruptura en la trayectoria del desplazamiento adoptando una nueva trayectoria.
- A₈) **Cambios de ritmo** (CR): Durante el desplazamiento se producen cambios bruscos de aceleración o deceleración en la velocidad del desplazamiento.
- A₉) **Fintas de desplazamiento** (FD): Cuando se produce una acción de falseo o engaño mediante el desplazamiento para intentar desequilibrar al defensor retardando su intervención.

B) Referidas a la **trayectoria** seguida **durante** la **batida**:

- B₁) **Trayectoria vertical** (TV): La trayectoria del cuerpo durante el vuelo es hacia arriba, buscando la componente vertical del salto. En fase de caída posterior los pies contactan con el suelo en el mismo sitio que se produjo la batida.
- B₂) **Trayectoria horizontal** (TH): La trayectoria del cuerpo durante el vuelo es hacia delante, priorizándose la componente horizontal del salto. En fase de caída posterior los pies contactan con el suelo en una posición más cercana a la portería.
- B₃) **Trayectoria lateral** (TBL): La trayectoria del cuerpo durante el vuelo prioriza la componente horizontal del salto. En la fase de caída posterior, los pies contactan con el suelo en una posición a izquierda o derecha de la posición de batida manteniendo la distancia respecto a la portería.

C) Referidas al **armado del brazo**:

- C₁) **Amplitud del armado (AA)**: Representa el máximo recorrido de las palancas articulares implicadas en la acción de armado de brazo, provocando que codo, muñeca y balón se encuentren al inicio de la fase de lanzamiento, lo más alejado posible del cuerpo.
- C₂) **Movimientos accesorios en brazos (MAB)**: Aquellos movimientos que se realizan durante el armado de brazo y que no son propios de la acción técnica de armado, no contribuyendo a la eficacia mecánica del mismo.

Una vez definido el instrumento de recogida de datos se procedió a la observación propiamente dicha en la que participaron tres observadores con titulación de Entrenador Nacional de Balonmano y Licenciados en Educación Física con experiencia práctica como jugadores y como entrenadores en diferentes categorías. Previo a la realización de la observación, se les sometió al entrenamiento teórico y práctico propuesto por Medina y Delgado (1999). La confiabilidad entre observadores se encontró por encima del 95%, confirmándose la poca dificultad del hecho a observar y garantizando así la validez.

3.2.3.2.- TÉCNICAS FOTOGRAMÉTRICAS TRIDIMENSIONALES

Dentro de los registros indirectos utilizados en Biomecánica Deportiva para el estudio del movimiento humano, destacamos las técnicas instrumentales de registro fotogramétrico tridimensional (3D), basadas en la filmación con cámara de vídeo. Para el análisis del gesto de estudio y la obtención de los factores biomecánicos, en esta tesis, se han utilizado estas técnicas, las cuales nos han permitido obtener información fiable sobre posiciones, dimensiones y actitudes de los objetos físicos que han compuesto el sistema de estudio. El análisis se ha realizado filmando el gesto desde dos localizaciones espaciales diferentes, representando cada imagen con una secuencia temporal fija. Las técnicas fotogramétricas utilizadas se pueden dividir según las dos fases secuenciales en las que se han empleado: primero las técnicas instrumentales de registro y, seguidamente, las técnicas de obtención y tratamiento de los datos (figura 3.7.). El análisis fotogramétrico se ha iniciado con la filmación del gesto deportivo, y del objeto de referencia. Las cámaras han registrado los lanzamientos sin modificar su posición, manteniéndose su campo de visión inmóvil y poder así aplicar posteriormente la reconstrucción espacial (3D) a partir de las coordenadas planas obtenidas en cada visión.

Según la clasificación de Yeadon (1990), el sistema utilizado requiere medidas de campo, pudiendo colocarse las cámaras libremente en cualquier posición teniendo

en cuenta la filmación de un objeto de referencia formado por puntos espaciales conocidos con antelación o en fase posterior a la ejecución del evento deportivo. Aunque, efectivamente, cualquier posición de las cámaras, con respecto al sistema de referencia, nos permitiría obtener las coordenadas 3D, es recomendable colocarlas formando un ángulo de 60° - 130° entre las bisectrices de sus respectivos ángulos de visión, además de tener en cuenta la posición de los puntos a digitalizar con respecto a cada una de las cámaras, especialmente los puntos del balón y del brazo de lanzamiento. En la figura 3.8. se presentan las posiciones de las cámaras con respecto al sistema de referencia y la posición de la portería.

Para la filmación se utilizaron dos cámaras de vídeo Panasonic S-VHS NV-MS4 sobre trípodes, ambas con una frecuencia de muestreo de 50 campos por segundo (50 Hz), y con una resolución y calidad de imagen de 307.200 píxeles, siendo el ajuste de las ópticas y el obturador de forma manual, según niveles del fotómetro, seleccionándose el obturador a 1500 lux.

Las cámaras se han ubicado teniendo en cuenta los siguientes factores:

- a) Posibilitar el visionado del máximo número de puntos del sistema jugador más balón, consideramos adecuada una posición donde la bisectriz del ángulo de visión de cada cámara, con respecto a la trayectoria del jugador, forma un ángulo de 40° .
- b) Evitar posiciones que puedan verse interferidas por el desplazamiento de móviles que cruzan el eje óptico (jugadores, entrenadores, etc). Este aspecto está relacionado con el procedimiento seguido llegando a colocar las dos cámaras en un mismo lateral.
- c) La posición de la cámara debe ser lo más lejana posible con respecto al sujeto para impedir el efecto de deformación producido por el incremento de tamaño de los elementos más cercanos a la cámara. La distancia de las cámaras con respecto al centro geométrico del sistema de referencia es de 12,2 m y 13,2 m, respectivamente.
- d) Centrar el eje óptico de las cámaras en el centro del volumen espacial en donde se ejecuta el gesto técnico.

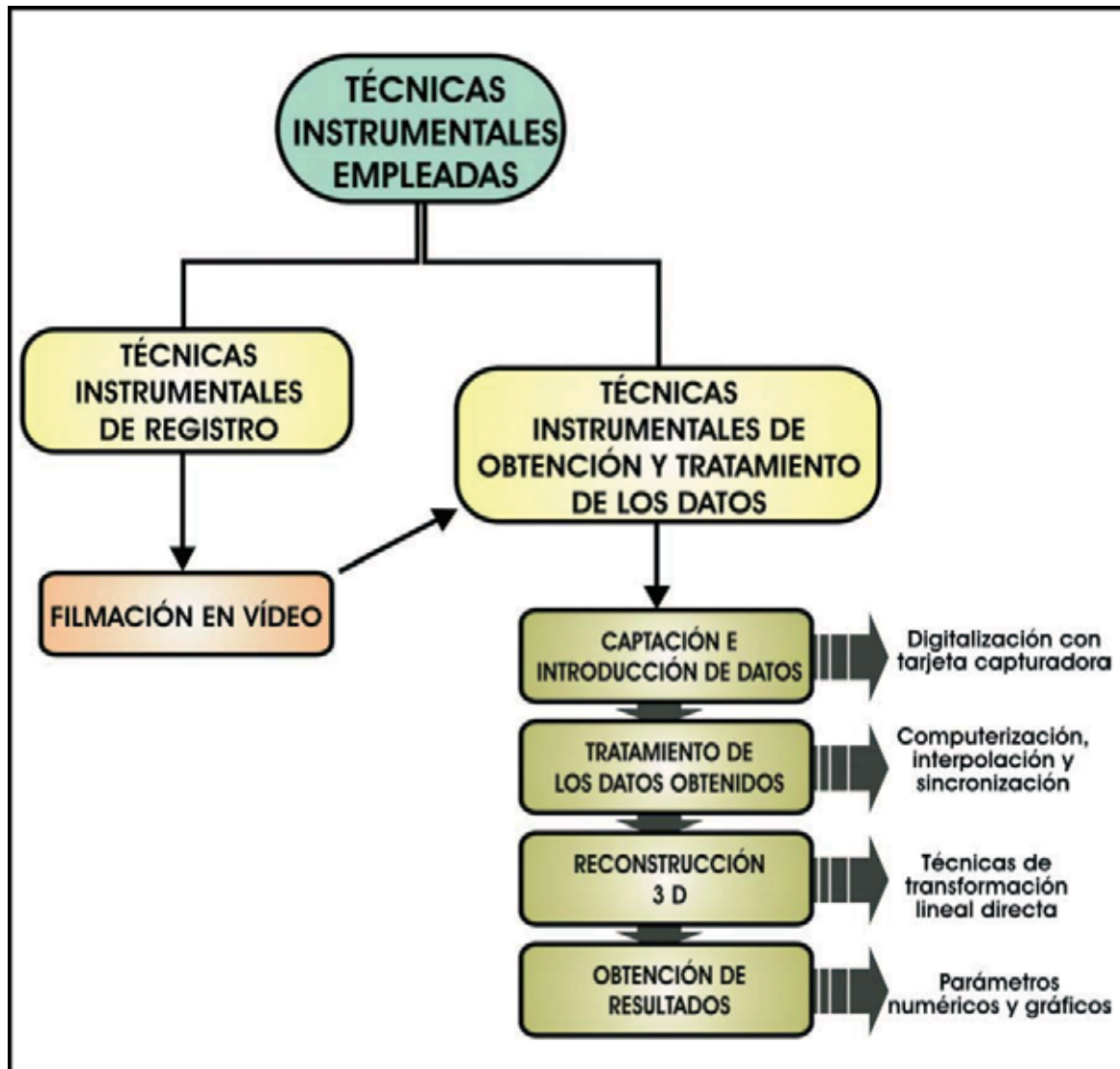


Figura 3.7.- Representación esquemática de las técnicas instrumentales empleadas (adaptado de Soto, 1995 y Rojas, 1997).

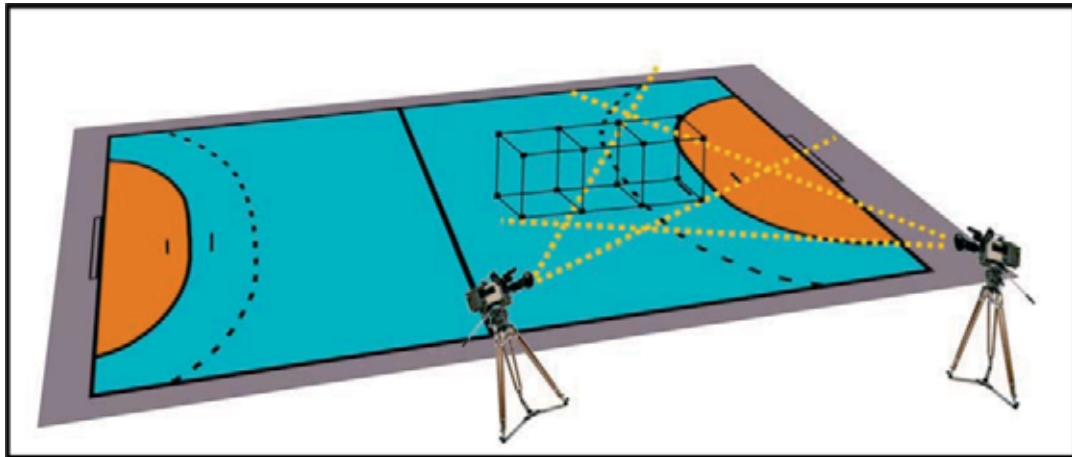


Figura 3.8.- Ubicación de las cámaras y el sistema de referencia durante la filmación.

Durante la filmación se procedió a registrar los lanzamientos mediante unas hojas de registro (Anexo II), con el fin de controlar y evitar confusiones en el posterior análisis y selección de los lanzamientos. En estas hojas de registro se anotaban las características del jugador, las condiciones en que se efectuaba cada lanzamiento (con o sin oposición defensiva), el minuto y segundo aproximado en el cual comenzaba cada lanzamiento, si se conseguía gol o no y la calidad del lanzamiento, desde un punto de vista subjetivo. En cuanto a la calidad, se valoraba teniendo en cuenta la altura del lanzamiento en salto, la potencia apreciable del lanzamiento, el nivel de activación o intensidad del mismo, etc.

Tras las filmaciones se procedió a la selección de las muestras. Esta selección se llevó a cabo de manera conjunta con entrenadores especialistas en balonmano y, mediante la utilización de magnetoscopios de alta calidad, se valoraban los distintos lanzamientos. Los criterios seguidos para la elección de cada uno de los lanzamientos fueron: a) que la filmación abarque todo el lanzamiento; b) que se ejecute en condiciones óptimas tanto a nivel de técnica como a nivel de activación del lanzador, y c) que no existan variables contaminadoras, como por ejemplo: que se mueva la cámara, que otros jugadores se interpongan entre la cámara y el lanzador impidiendo la visión, etc.

Como se ha comentado, para la obtención de las coordenadas espaciales tridimensionales es imprescindible la utilización de un objeto o sistema de referencia, el cual es la base sobre la que se construye el algoritmo de la transformación lineal directa (DLT). Gran parte de los errores producidos en la reconstrucción 3D se deben a la incorrecta construcción, calibración y digitalización del sistema de referencia.

El sistema de referencia utilizado en esta tesis está compuesto por tres cubos con 16 vértices, con un área total de 10.125 m^3 y unas dimensiones de 1.50 m de profundidad, 4.5 m de largo y 1.5 m de altura (figuras 3.9.).

La estructura posee las características de indeformable, desmontable, ligera, rígida, modular y de fácil manejo, está formada por 20 barras cilíndricas huecas de aluminio de 2 cm de diámetro, y de 1.5 m de longitud. Estas barras se enroscan a 16 crucetas o puntos de unión de acero por sus extremos, los cuales son cubos de $3,375 \text{ m}^3$ provistos de entradas en sus 6 lados permitiendo el acoplamiento de hasta 6 barras (figura 3.9.).

Se ha optado por un sistema de referencia que abarca prácticamente todo el espacio donde pueden transcurrir los lanzamientos. La orientación del sistema queda reflejada en la figura 3.9., donde el eje horizontal X coincide con la dirección de desplazamiento del jugador hacia portería, el eje Y es vertical y el eje Z es perpendicular a los dos anteriores.

Tras la descripción de las técnicas instrumentales de registro, abordaremos a continuación las técnicas instrumentales de obtención y tratamiento de datos, a

partir de los cuales deduciremos las variables o factores de eficacia de los lanzamientos en salto. En primer lugar, una vez concluidas las filmaciones, se seleccionan los lanzamientos que se van a analizar utilizando para ello unas planillas elaboradas para tal efecto (Anexo II). Una vez seleccionados los lanzamientos y con el fin de obtener los datos correspondientes a las posiciones espaciales de los puntos que definen la estructura segmentaria del jugador y el balón, se hace necesaria la introducción de las imágenes de vídeo de los lanzamientos seleccionados dentro del ordenador mediante el proceso conocido con el nombre de captura. La captura consiste en convertir las imágenes de vídeo en imágenes digitales.

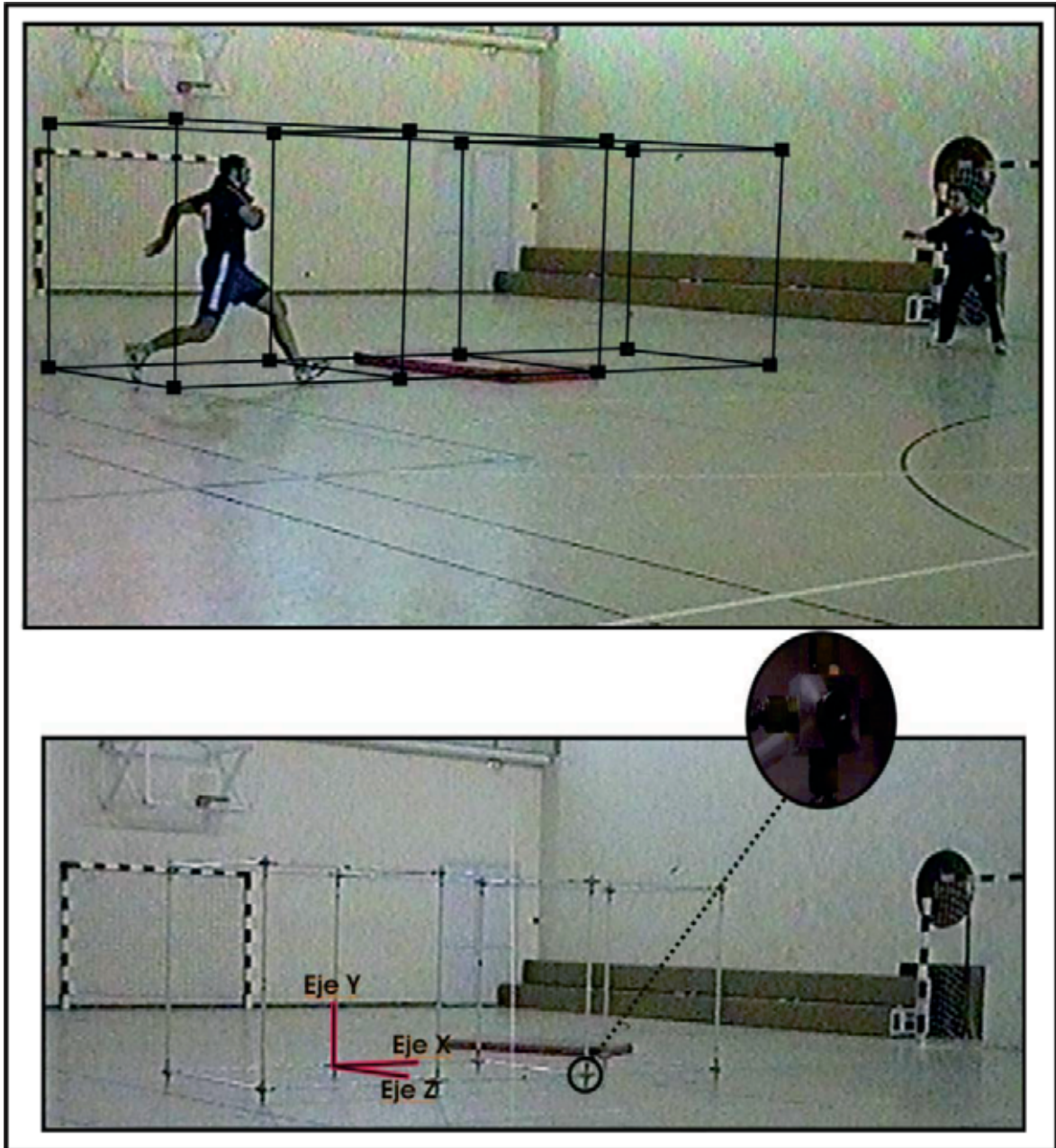


Figura 3.9.- Representación del objeto de referencia utilizado para la reconstrucción tridimensional del movimiento y detalle de las crucetas utilizadas para su ensamblaje.

Una vez que se disponía de la filmación en formato digital, se procedió a transformar cada fotograma en una imagen fija JPG (Joint Photographic Experts Group), esto se realizó gracias a una tarjeta capturadora de vídeo PINNACLE y a un magnetoscopio S-VHS PANASONNIC 850. El magnetoscopio utilizado se caracteriza por su alta calidad de parada de imagen, por un preciso mecanismo de avance y retroceso de las imágenes, por una buena capacidad de búsqueda rápida y, sobre todo, porque es capaz de fragmentar un segundo en 50 imágenes (fotogramas), cuando los vídeos domésticos sólo son capaces de dividir un segundo en 25 imágenes. En la figura 3.10. se presentan los equipos utilizados para la captura de las imágenes en formato JPG a una frecuencia de 50 Hz.

El posterior tratamiento de las imágenes JPG obtenidas tras el proceso de captura, lo realizan, por su complejidad y monotonía, los sistemas informáticos especializados y diseñados por el grupo de investigación de Análisis del Movimiento Humano del Departamento de Educación Física de la Universidad de Granada. Dicho tratamiento de las imágenes se realizó en tres fases: a) *digitalización*, b) *interpolación* y c) *sincronizado*.

La *digitalización* consiste en almacenar en el ordenador las coordenadas planas de los puntos que componen la estructura de segmentos del jugador, así como del sistema de referencia utilizado en las filmaciones obtenidas de las dos cámaras (cámara 1 y cámara 2). Este proceso de digitalización se ha llevado a cabo mediante el programa informático CIBORG v.3.0. desarrollado en la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de Granada en el Laboratorio de Biomecánica (Gutiérrez et al., 1990; Soto, 1995). En la figura 3.11. se presenta la portada principal del software utilizado.

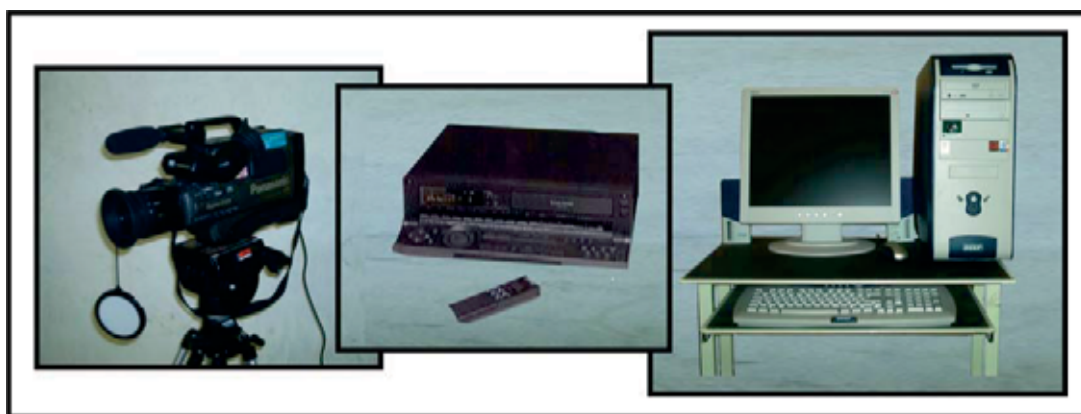


Figura 3.10.- Material tecnológico utilizado en los procesos de filmación, captura y tratamiento de los datos.

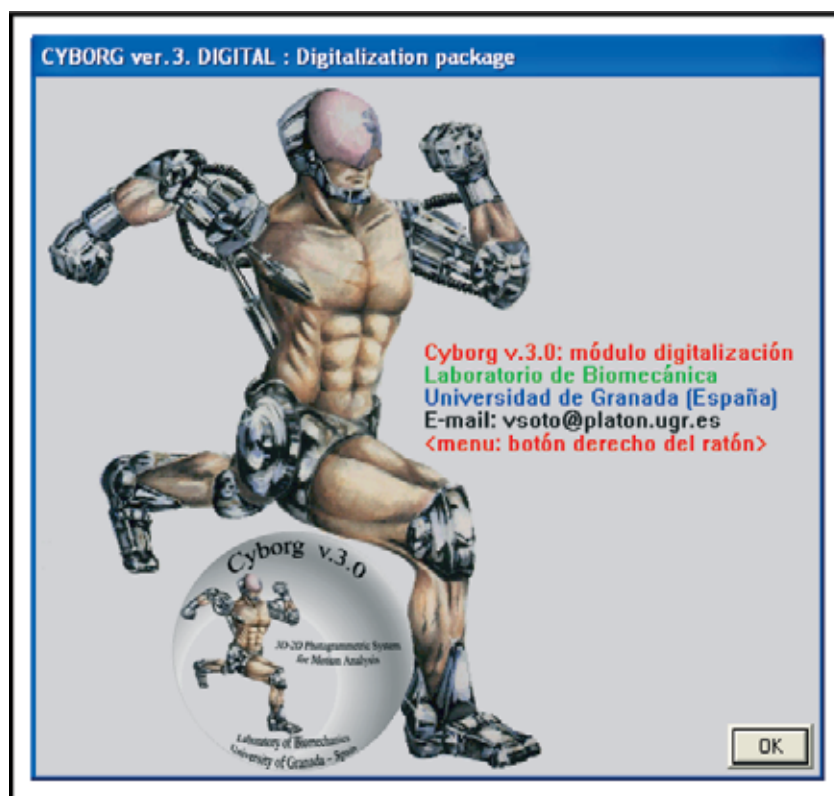


Figura 3.11.- Portada del software CYBORG v. 3.0.

La digitalización se ha desarrollado de forma manual, mediante un dispositivo interno que ha permitido gestionar la imagen dentro de una pantalla de 17" TFT, de un ordenador Pentium IV a 2.8 Ghz, con 512 Mb de memoria Ram DDR y 80 Gb de disco duro. Se ha utilizado el ratón como marcador de los puntos a digitalizar. Para una correcta ejecución del proceso de digitalización, es fundamental el entrenamiento de la persona que lo realiza, con el fin de minimizar los posibles errores en los distintos puntos de digitalización.

En esta tesis se ha intentado minimizar al máximo estos errores realizando toda la digitalización la misma persona, estableciendo un criterio y manteniéndolo a lo largo de todo el proceso (Vera, 1988). El proceso de entrenamiento / aprendizaje de observación de los puntos, para lograr la fiabilidad necesaria, se ha llevado a cabo mediante el sistema propuesto por Soto (1995).

En balonmano, la estructura alámbrica del sistema jugador más balón se compone de 23 puntos. Del balón se señala su centro geométrico y la nariz se digitaliza para mejorar la representación gráfica y conocer la orientación de la cabeza. El proceso de marcado de los puntos se ha repetido en ambas cámaras (cámara 1 y 2) y en cada uno de los, aproximadamente, 50 fotogramas de los que constaba cada uno de los lanzamientos analizados, almacenándose las coordenadas planas correspondientes a cada punto durante toda su trayectoria en ficheros secuenciales para poder ser tratados posteriormente. En la figura 3.12. se presenta el menú principal del software utilizado para realizar la digitalización.

El modelo humano de 23 puntos, diseñado para el análisis del jugador en balonmano está definido por 14 segmentos. Los puntos que definen el modelo utilizado se presentan en la figura 3.13. Este modelo utiliza los parámetros inerciales propuestos por Zatsiorski y Seluyanov (1983) y adaptados por de Leva (1996), tabla 3.4., de ahí que se hayan establecido los segmentos y localizaciones puntuales definidas por este autor para el modelado del cuerpo humano, así como otra localización necesaria para la determinación del implemento deportivo.

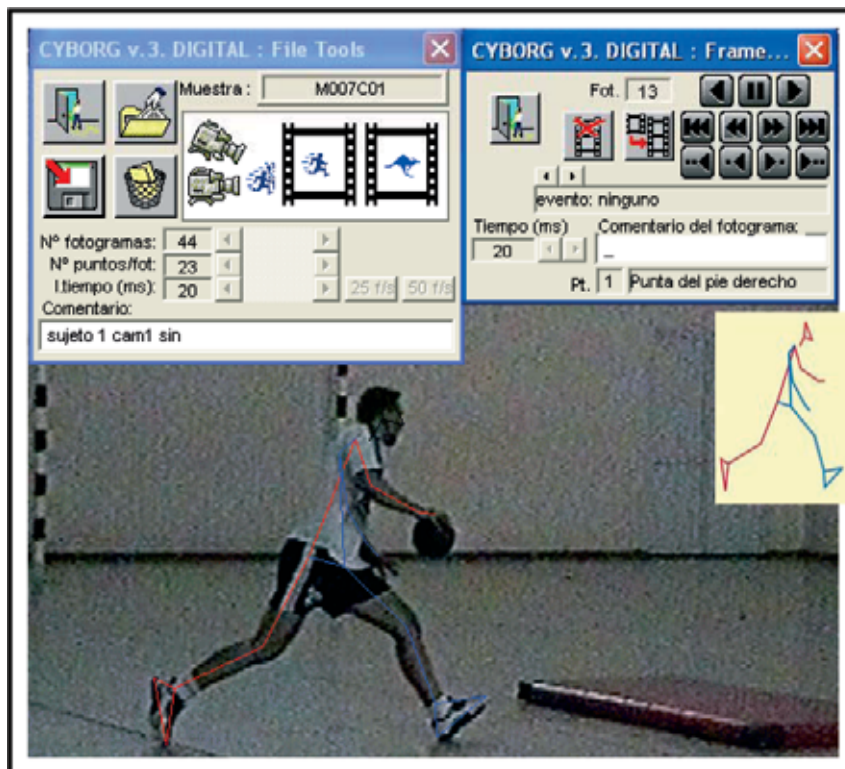


Figura 3.12.- Representación de la pantalla de digitalización en el programa informático CYBORG v.3.0. Estructura alámbrica del sistema jugador y balón.

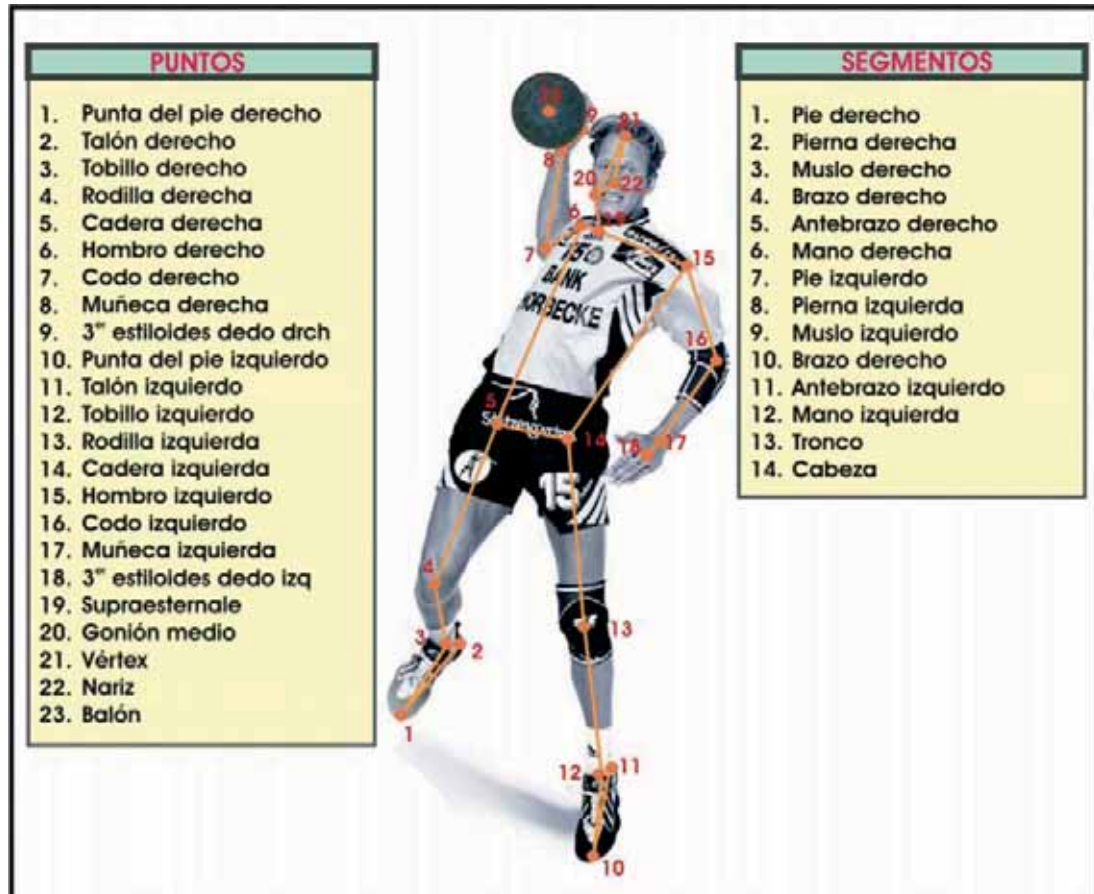


Figura 3.13.- Representación del modelo mecánico del cuerpo humano y del implemento.

Tabla 3.4.- Pesos de los segmentos corporales relativos al peso total del cuerpo y localizaciones del centro de gravedad (CG) segmentario (adaptado de Gutiérrez, 1999).

PESOS DE LOS SEGMENTOS CORPORALES RELATIVOS AL PESO TOTAL DEL CUERPO (% DE 1)		
SEGMENTO	HOMBRES	MUJERES
Cabeza y cuello	0.0694	0.0668
Tronco (Tórax)	0.4346	0.4257
(Abdomen)	0.1596	0.1445
(Pelvis)	0.1633	0.1465
Brazo	0.1117	0.1247
Antebrazo	0.0271	0.0255
Mano	0.0162	0.0138
Muslo	0.0061	0.0056
Pierna	0.1416	0.1478
Pie	0.0433	0.0481
	0.0137	0.0129

LOCALIZACIÓN DEL VECTOR CG DE LOS SEGMENTOS CORPORALES, EXPRESADO COMO PORCENTAJE DE LA DISTANCIA TOTAL ENTRE DOS PUNTOS, A PARTIR DEL PROXIMAL		
SEGMENTO	HOMBRES	MUJERES
Cabeza y cuello	59.76	58.94
Tronco (Tórax)	44.86	41.51
(Abdomen)	29.99	20.77
(Pelvis)	45.02	45.12
Brazo	61.15	49.20
Antebrazo	57.72	57.54
Mano	45.74	45.59
Muslo	79.00	74.74
Pierna	40.95	36.12
Pie	44.59	44.16
	44.15	40.14

Registradas las coordenadas planas, procedentes de las dos cámaras, éstas se interpolaron a 100 Hz mediante la aplicación de splines de quinto grado. Interpolados los puntos que determinan el modelo de jugador más balón, el siguiente paso fue la sincronización temporal de las imágenes procedentes de las dos cámaras. Dicha *sincronización* entre ambas cámaras no se ha basado en ningún dispositivo físico, ya sea interno o externo, sino que ésta ha sido realizada mediante el procedimiento matemático basado en los algoritmos de transformación lineal directa (DLT), desarrollados por Gutiérrez y Martínez (1999). Además de este sincronismo matemático de las cámaras, se procedió a realizar un ajuste y conformación del sincronismo mediante eventos visuales. En la figura 3.14. se presenta la pantalla principal del programa que realiza el sincronismo matemático y su conformación por eventos.

Interpoladas las coordenadas planas, y sincronizadas las cámaras, el siguiente paso dentro de este proceso de computarización, fue obtener las coordenadas espaciales de los 23 puntos digitalizados con respecto al sistema de referencia inercial definido previamente, utilizando para ello las técnicas de transformación lineal directa (DLT) descritas por Abdel-Aziz y Karara (1971), adaptadas por Tortosa (1987) y Gutiérrez et al. (1990). A este proceso se le denomina reconstrucción tridimensional de las coordenadas planas.

Siguiendo el proceso secuencial, anteriormente descrito, tras la reconstrucción en 3D se llevó a cabo la generación de resultados, tanto de los parámetros numéricos (variables cinemáticas) como de los parámetros gráficos. Para este último proceso, se utilizaron diferentes rutinas de cálculo, cuya base matemática se describe más adelante.

Para poder comparar las cadenas cinéticas involucradas en los lanzamientos, se ha realizado un ajuste temporal en los registros de velocidades tangenciales de los centros articulares o puntos que definen el sistema. Para realizar este ajuste, el tiempo se ha expresado en % del tiempo total, utilizando algoritmos de interpolación matemáticos, basados en los splines elevados a la quinta potencia.

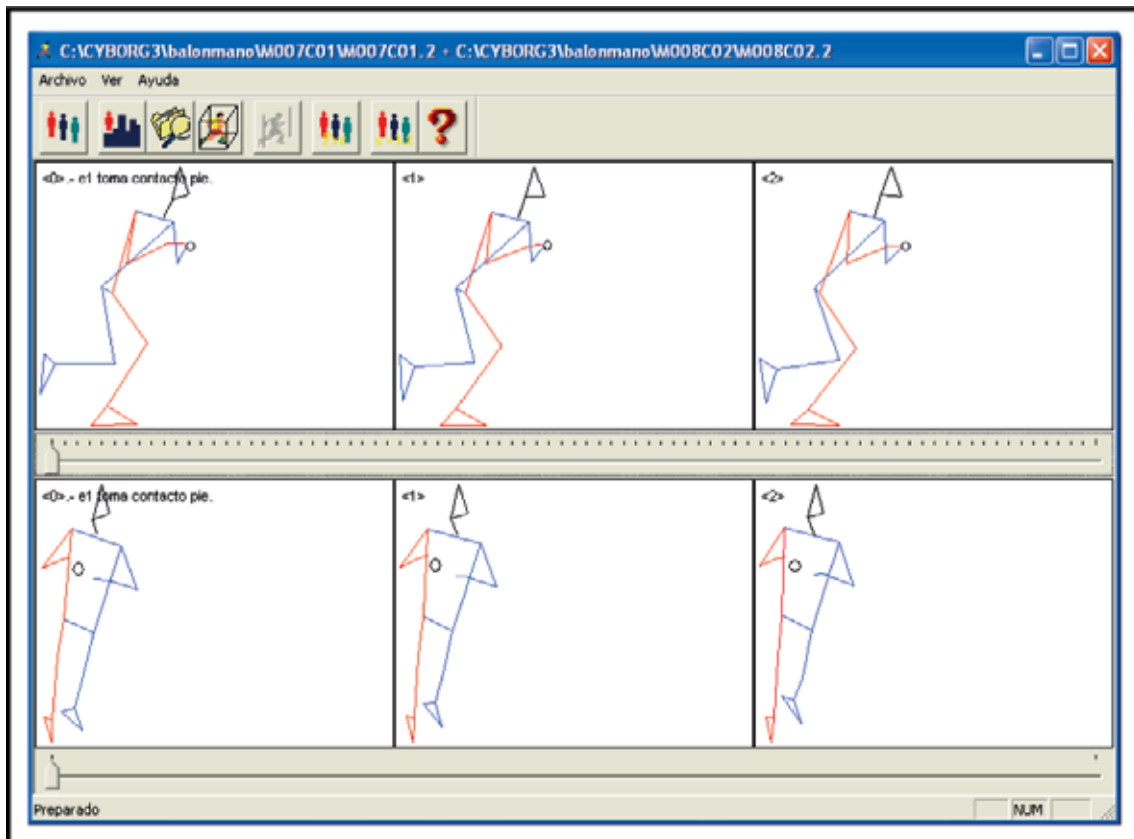


Figura 3.14.- Representación de la pantalla principal del programa informático DLT para el sincronizado de las imágenes planas y para el proceso de transformación lineal directa (DLT).

3.2.4.- Procedimiento

La filmación se llevó a cabo el día 12 de junio de 2003, en la franja horaria entre las 20.00 y 21.00 horas. El registro de los lanzamientos en salto, se realizó en el entrenamiento del equipo de balonmano masculino de la Universidad de Granada, en el pabellón de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.

En esta filmación se utilizaron dos cámaras de vídeo, la primera colocada a una distancia de 12,2 m metros del lugar de ejecución (centro geométrico del sistema de referencia) y la segunda a una distancia de 13,2 m, ambas formaban un ángulo de entre 70°-75° (figura 3.15.). Una vez colocadas las cámaras, y previamente a la filmación de los lanzamientos, se procedió a la filmación del objeto de referencia. Se filmó el objeto de referencia antes y después de realizar las filmaciones de los lanzamientos con el objeto de prevención en caso de desplazamiento fortuito (golpe inesperado del balón o algún jugador) de alguna de las cámaras.

Las características del protocolo de lanzamientos fue explicado a los jugadores, tras lo cual realizaron un calentamiento previo al desarrollo de las filmaciones. El calentamiento consistió en 7 minutos de estiramientos, 5 minutos de lanzamientos en salto desde diferentes posiciones, y 2 minutos de lanzamientos en salto tras carrera previa desde la posición de lanzamiento sin y con oposición. Una vez concluido el calentamiento, se procedió a la ejecución del protocolo experimental (figura 3.15). La posición de partida comienza más o menos en la zona central del campo (jugador A de la figura 3.15.), permitiendo un cierto grado de libertad en cuanto a la postura adoptada por cada jugador, desde esa posición estática se desliza corriendo con una trayectoria leve diagonal. Durante su desplazamiento el jugador recibe un balón a 3.5 m del punto de partida, enviado por un jugador (jugador B de la figura 3.15), situado a 4 m del lugar de lanzamiento mediante un pase clásico frontal, 2 metros antes de llegar al lugar de lanzamiento. Tras recibir el balón el jugador iniciaba el ciclo de pasos, generalmente dos o tres pasos, y lanzaba.

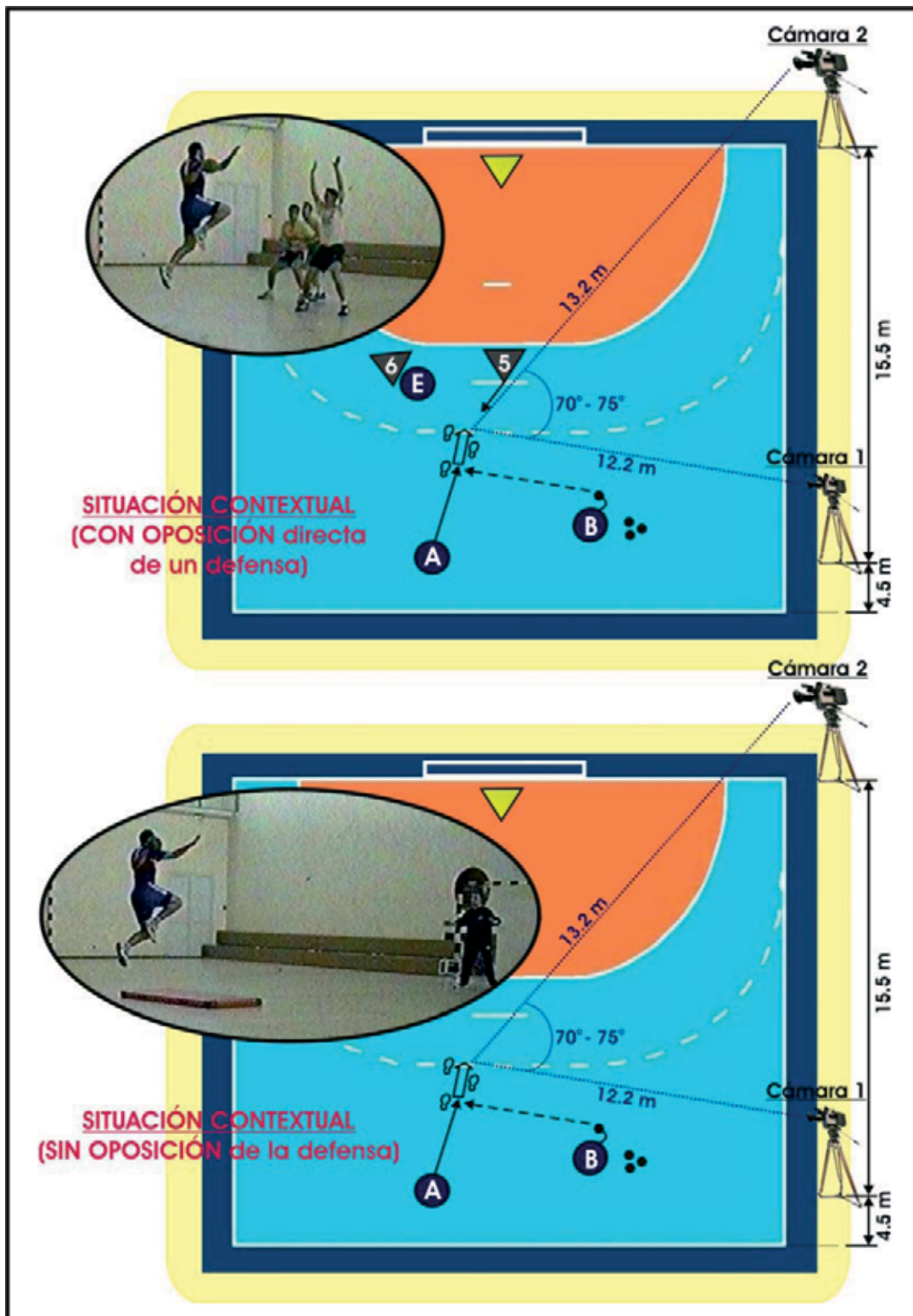


Figura 3.15.- Representación del protocolo de ejecución desarrollado.

Los lanzamientos se producían en dos situaciones contextuales diferentes, debiendo conseguir gol sin oposición y con oposición ante un defensa y el portero. Se dio libertad a los jugadores en cuanto al número de pasos tras la recepción. Se hicieron tantas repeticiones como hiciera falta, hasta que cada jugador conseguía dos goles. Ningún jugador recibió conocimiento de resultados en cuanto a la ejecución, con el fin de no interferir en la técnica de los lanzamientos, limitándonos a corregir las directrices del procedimiento.

3.2.5.- Variables biomecánicas

Las variables dependientes se han seleccionado en función de los criterios de eficacia que definen el lanzamiento en salto vertical a portería. Para el criterio de agrupamiento de las mismas se ha seguido la organización propuesta por Hudson (1985), agrupándolos en dos tipos de variables: *variables de producto*, las cuales determinan la consecuencia final de lo que ha ocurrido durante el gesto y *variables de proceso*, consideradas como las causas más significativas que determinan la eficacia del gesto durante su ejecución.

Se han analizado las siguientes **variables de producto**: **a)** ángulo de salida del balón (α salida balón), **b)** velocidad de salida del balón (V_s salida balón), **c)** altura de salida del balón (H_s salida balón) **d)** altura del centro de gravedad del sistema jugador más balón en el instante de la suelta (H_{CG} salida balón) y **e)** las relativas a las posiciones espaciales adoptadas en el momento de la suelta del balón (ángulo de tronco y brazo en los planos sagital, frontal y transversal - α tronco brazo-, ángulo de tronco y brazo en los planos sagital, frontal y transversal - α tronco vertical-, ángulo de torsión del tronco, respecto a la cadera y a los hombros - α torsión tronco-).

En cuanto a las **variables de proceso**, se han seleccionado las siguientes: **a)** las temporales (tiempo de impulso de frenado - $T1-T2$ -, tiempo de impulso de aceleración - $T2-T3$ -, tiempo de fase preparatoria - $T4-T5$ -, tiempo de fase de lanzamiento - $T5-T6$ -, tiempo entre la máxima altura del CG y la suelta - $TMáxHCG$ suelta- y el tiempo entre la máxima altura del balón y la suelta - $TMáxHB$ suelta-), **b)** la relativa a la posición espacial adoptada (ángulo de máxima torsión del tronco - α máxima torsión tronco-), **c)** las relativas a las velocidades desarrolladas por el CG del sistema lanzador más balón (velocidad tangencial del CG al final de la carrera - VCG final carrera-, velocidad tangencial del CG al final del impulso de frenado - VCG final impulso frenado-, velocidad tangencial del CG al final de la batida - VCG final batida- y velocidad tangencial del CG en la suelta del balón - VCG suelta-) y **d)** las que definen la evolución de la cadena cinética desarrollada.

3.2.5.1.- VARIABLES DE PRODUCTO

El *ángulo de salida del balón* (θ , *salida balón*) se define como el ángulo comprendido entre el vector desplazamiento del balón, al despegar de la mano del lanzador, y su proyección en el plano transversal. En la figura 3.16. se representa este ángulo desde una visión sagital.

Para calcular la trayectoria del balón en el espacio, se determinó, en primer lugar, el vector desplazamiento de las coordenadas espaciales medias que tiene el CG del balón en las cuatro posiciones posteriores a su despegue, de la mano del jugador, a partir de una regresión lineal. Obtenido el vector desplazamiento, el ángulo de salida se determinó a partir del producto escalar del vector determinado, y su proyección en el plano horizontal según la expresión 3.1.

E.3.1.

$$R = \{(x_a - x_b), (y_a - y_b), (z_a - z_b)\}$$

$$Q = \{(x_a - x_b), (0), (z_a - z_b)\}$$

$$\cos \theta = \frac{R \cdot Q}{|R| \cdot |Q|}$$

donde **R** es el vector desplazamiento del balón después de salir de la mano del jugador, **Q**, el vector desplazamiento correspondiente a la proyección del vector **R** sobre el plano transversal y (x_a, y_a, z_a) y (x_b, y_b, z_b) las coordenadas espaciales de los puntos que definen el vector **R**.

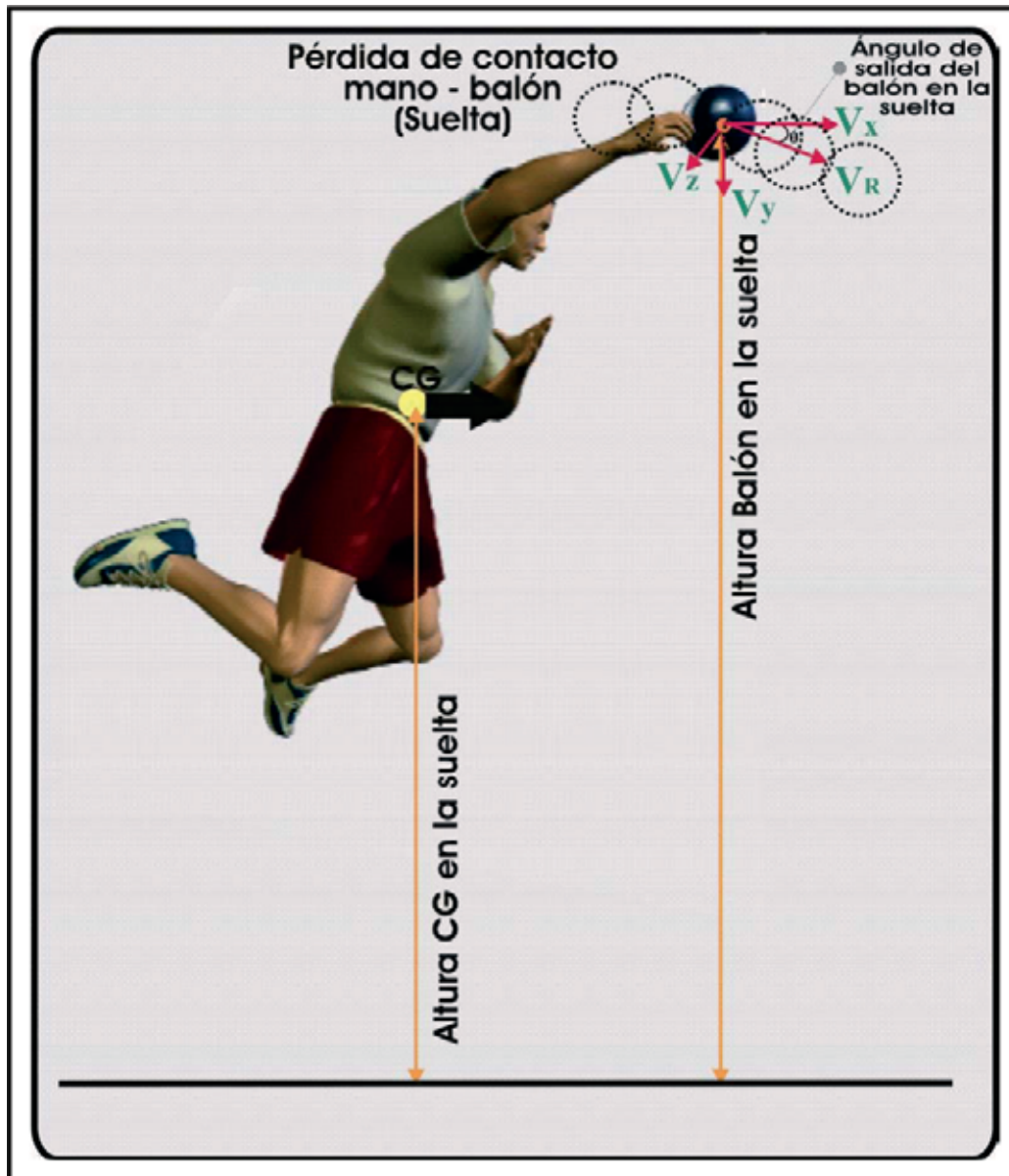


Figura 3.16.- Representación de las siguientes variables de producto: ángulo de salida del balón, velocidad de salida del balón, altura de salida del balón y altura del centro de gravedad del sistema jugador más balón en el instante de la suelta.

El cálculo de la *velocidad tangencial de salida del balón* (V_s salida balón), en el momento de perder contacto con la mano ejecutora, al igual que el resto de las velocidades, se ha realizado mediante la primera derivada de la función correspondiente a las posiciones espaciales del balón, en el instante de despegue de la mano. Las funciones correspondientes se han obtenido mediante las técnicas de splines elevados a la quinta potencia sin incorporar el proceso de suavizado.

La variable *altura de salida del balón* (H_s salida balón) se corresponde con la distancia comprendida desde el centro geométrico del balón hasta la perpendicular del suelo, tomada en el momento en que el balón pierde contacto con la mano ejecutora. Su cálculo se ha llevado a cabo mediante la diferencia entre la coordenada vertical (Y) del balón, en el instante de salida de la mano ejecutora, y el segundo valor mínimo de la coordenada Y del pie de batida, ya que el primer valor mínimo podría haberse obtenido por una digitalización incorrecta o un error de cálculo imperfecto. En la figura 3.16. se representa esta altura desde una visión sagital. Esta altura de salida del balón hay que diferenciarla de la variable máxima altura del balón lograda a lo largo del lanzamiento ($MáxH$ balón).

La variable *altura del centro de gravedad del sistema jugador más balón* en el instante de la suelta del balón (H_{CG} salida balón) está muy relacionada con la altura de salida del balón, y se corresponde con la distancia comprendida entre el centro de gravedad del lanzador más balón y el suelo en el instante en que el balón pierde contacto con la mano ejecutora, es decir nos informa sobre el desplazamiento vertical del CG del sistema. En la figura 3.16. se representa esta altura desde una visión sagital.

Para el cálculo del CG del jugador se han utilizado los parámetros inerciales mencionados, con anterioridad, por de Leva (1996), permitiéndonos conocer el porcentaje de peso y el lugar donde se encuentra el CG en cada uno de los catorce segmentos que esquematizan el jugador. Con la utilización de estos datos y las coordenadas de los puntos que definen cada segmento se determinan las coordenadas del CG del sistema mediante la expresión 3.2.

E.3.2.

$$CG_J = \sum_{i=1}^{i=14} \{Gp_i - K_i(Gp_i - Gd_i)\}W_i$$

donde CG_J se corresponde con el cg del jugador, GP_i , a las coordenadas de los centros articulares proximales de cada uno de los segmentos; Gd_i , a las coordenadas de los distales; K_i , las distancias en porcentajes, con respecto a la distancia total de cada segmento, entre el cg y el punto proximal de cada segmento y W_i , el peso relativo de cada uno de los 14 segmentos corporales, expresado en porcentajes respecto al peso total.

Para el cálculo del CG del sistema jugador con balón se recurre a la expresión 3.3., donde conociendo las coordenadas espaciales del CG y la masa del jugador y del balón, es posible conocer las coordenadas espaciales del sistema jugador más balón.

E.3.3.

$$CG_S = \frac{(CG_J \cdot G_j) + (CG_b \cdot G_b)}{G_j + G_b}$$

donde CG_S se corresponde con el centro de gravedad del sistema jugador con balón, CG_J y CG_b , a las coordenadas del CG del jugador y balón respectivamente, y G_j y G_b , las masas del jugador y balón, respectivamente.

La valoración de las posiciones espaciales se ha referido al análisis de las posiciones segmentarias desarrolladas por el jugador. Entre las *variables relativas a las posiciones espaciales adoptadas* por el jugador en el instante de la pérdida de contacto con el balón (suelta), se han seleccionado las siguientes:

- *Ángulo tronco-brazo* en los tres planos con respecto al sistema de referencia utilizado ($\alpha_{\text{tronco-brazo}_{\text{sagital}}}$, $\alpha_{\text{tronco-brazo}_{\text{frontal}}}$ y $\alpha_{\text{tronco-brazo}_{\text{transversal}}}$), formado por la línea que une los puntos de hombro y codo del brazo lanzador con la línea vertical del tronco. Calculado al final de la fase de lanzamiento, es decir, cuando el balón sale de la mano ejecutora. En la figura 3.17.a₁, a₂, y a₃, se representa este ángulo en los planos sagital, frontal y transversal, respectivamente.

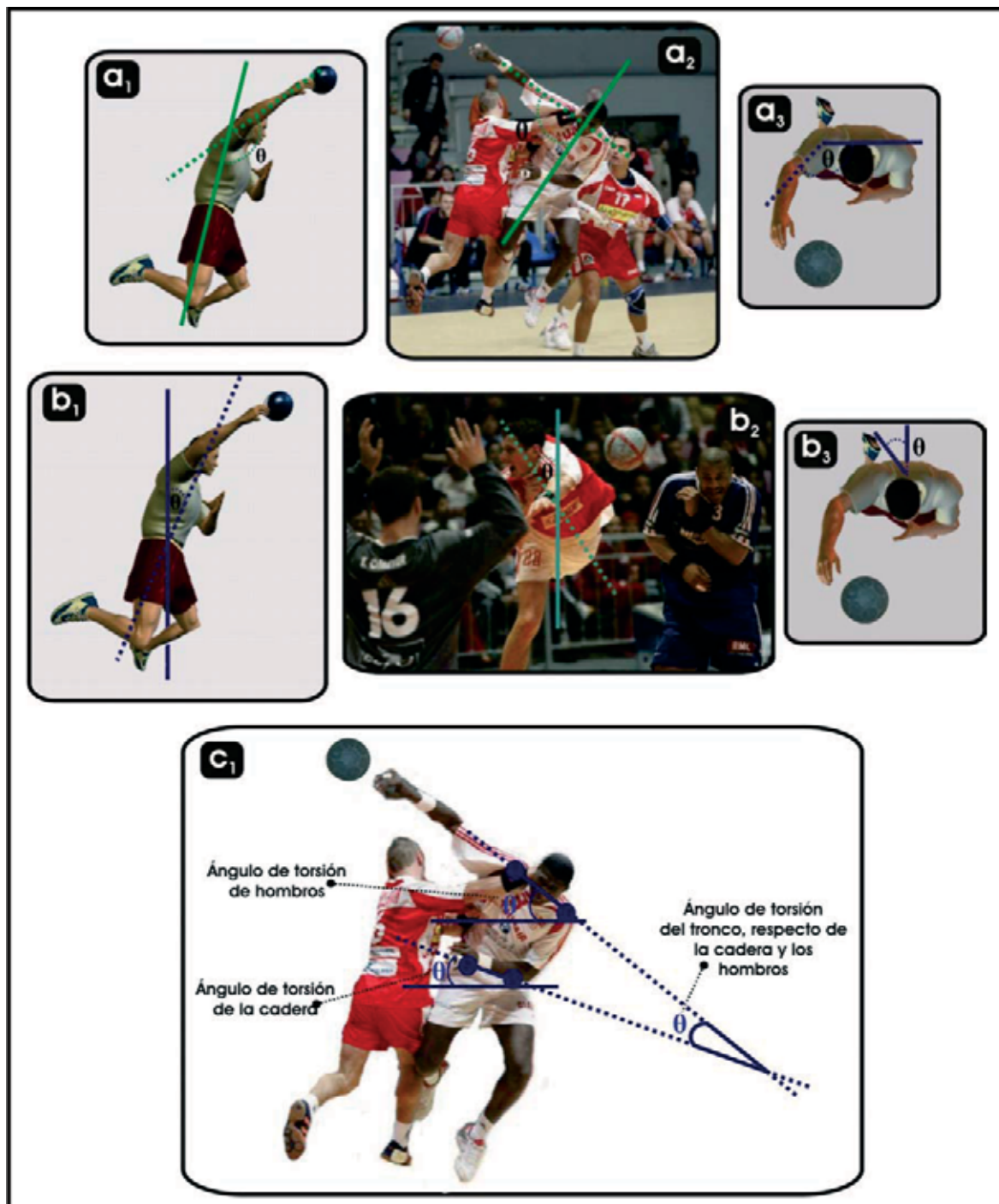


Figura 3.17.- Representación de las variables relativas a las posiciones segmentarias (ángulos), donde a_1 , a_2 , y a_3 muestran el ángulo tronco-brazo en los tres planos sagital, frontal y transversal, respectivamente; donde b_1 , b_2 , y b_3 muestran el ángulo tronco-vertical en los tres planos sagital, frontal y transversal, respectivamente; y donde c_1 representa los ángulos de torsión de hombros y de cadera, y el ángulo de torsión del tronco, respecto de la cadera y los hombros. y el ángulo de máxima torsión del tronco.

- *Ángulo tronco-vertical* en los tres planos (\angle *tronco-vertical*_{sagital}, \angle *tronco-vertical*_{frontal} y \angle *tronco-vertical*_{transversal}), este ángulo establece el grado de inclinación del tronco, está formado por la línea que une los puntos medios entre ambos hombros y ambas caderas con la componente vertical del sistema de referencia. Calculado al final de la fase de lanzamiento, es decir, cuando el balón sale de la mano ejecutora. En la figura 3.17.b₁, b₂, y b₃, se representa este ángulo en los planos sagital, frontal y transversal, respectivamente.
- *Ángulos de torsión del tronco*, respecto a la cadera y respecto a los hombros, al final de la fase de lanzamiento. Dentro de esta variable se distinguen tres tipos de ángulos: a) *ángulo de torsión de hombros* (\angle *torsión-hombros*), que representa el ángulo que forman la línea de hombros con respecto a una línea imaginaria paralela a portería; b) *ángulo de torsión de la cadera* (\angle *torsión-cadera*), representado por el ángulo que forman la línea de caderas con respecto a una línea imaginaria paralela a portería; y c) *ángulo de torsión del tronco* (\angle *torsión tronco*), propiamente dicho, determinado por el ángulo formado por la prolongación de las líneas de hombros y cadera. En la figura 3.17.c₁, se pueden apreciar gráficamente estos ángulos.

3.2.5.2.- VARIABLES DE PROCESO

Para el proceso de obtención de las *variables temporales* se han tenido en cuenta las posiciones espaciales adoptadas por el jugador y el balón en el transcurso de la ejecución del lanzamiento. Las posiciones espaciales que han determinado las fases del gesto han sido las siguientes: **(T1)** instante en el que el talón de la pierna de batida toma contacto con el suelo, **(T2)** instante en el que la rodilla de la pierna de batida alcanza el menor ángulo, **(T3)** instante en el que la punta del pie de batida pierde contacto con el suelo (despega del suelo), **(T4)** instante en el que comienza la torsión del tronco, **(T5)** instante en el que comienza la distorsión del tronco y **(T6)** momento de pérdida de contacto de la mano ejecutora con el balón.

Una vez determinadas las posiciones espaciales, se han fijado las siguientes fases temporales:

- *Tiempo de impulso de frenado (T1-T2)*: Tiempo desde que el talón del pie de batida toma contacto con el suelo, hasta que la rodilla de la misma pierna alcanza el menor ángulo.
- *Tiempo de impulso de aceleración (T2-T3)*: Desde la máxima flexión de la rodilla de la pierna de batida hasta que la punta del pie pierde contacto con el suelo (despega del suelo).

- *Tiempo de la fase preparatoria (T4-T5)*: Comprende el período de tiempo desde que comienza la torsión del tronco, hasta que se aprecia el comienzo de la distorsión del tronco en la realización final del lanzamiento.
- *Tiempo de la fase de lanzamiento (T5-T6)*: Desde que se aprecia el comienzo de la distorsión del tronco, hasta el momento de pérdida de contacto de la mano ejecutora con el balón.

Además de estas variables temporales, se han valorado también otras dos:

- El tiempo entre la máxima altura del CG y la suelta (*TMáxHCG* suelta), es el intervalo de tiempo desde que el CG del jugador alcanza la máxima altura hasta el instante en que se produce la pérdida de contacto del balón de la mano ejecutora.
- El tiempo entre la máxima altura del balón y la suelta (*TMáxHB* suelta), representa el intervalo de tiempo desde que el balón alcanza la máxima altura y el instante en que se produce la pérdida de contacto del balón de la mano ejecutora.

El proceso de cálculo de todas estas variables se ha realizado a través de algoritmos matemáticos que determinan automáticamente los tiempos que comprenden cada fase, teniendo en cuenta que se han registrado las imágenes con una frecuencia de 50 Hz, y que posteriormente han sido interpoladas a 100 Hz mediante la utilización de las técnicas de splines de quinto grado, lo que nos ha aportado los correspondientes tiempos empleados por el sujeto en cada una de las fases del gesto técnico. En la figura 3.18., se representan las fases temporales descritas anteriormente.

La valoración de las posiciones espaciales se ha referido al análisis de las posiciones segmentarias desarrolladas por el jugador. Entre las *variables relativas a las posiciones espaciales adoptadas* por el jugador, se ha seleccionado la variable *ángulo de máxima torsión del tronco* (α *máxima torsión tronco*), ésta representa el mayor ángulo de torsión que alcanza el tronco al final de la fase preparatoria del lanzamiento (*T4-T5*). En la figura 3.19.a₁ y a₂ se puede observar este ángulo.

El cálculo del ángulo correspondiente a cualquier centro articular, definido por la posición de sus dos segmentos en el espacio, se ha desarrollado mediante la definición de sus respectivos vectores de posición. El cálculo de los citados vectores se ha realizado a partir de las coordenadas espaciales de los puntos que definen a cada uno de los dos segmentos y partiendo del vector posición de cada segmento con respecto al sistema de referencia utilizado. A partir de ahí, ha sido posible calcular el coseno del ángulo que determina su intersección mediante producto

escalar de dos vectores, según la expresión 3.4.

E.3.4.

$$R = \{x_{d1} - x_p, (y_{d1} - y_p), (z_{d1} - z_p)\}$$

$$Q = \{x_{d2} - x_p, (y_{d2} - y_p), (z_{d2} - z_p)\}$$

$$\cos\theta = \frac{R \cdot Q}{|R| |Q|}$$

donde **R** y **Q** son los vectores posición de cada uno de los segmentos, x_{d1} , y_{d1} , z_{d1} , y x_{d2} , y_{d2} , z_{d2} las coordenadas de los centros articulares contiguos y x_p , y_p , z_p , las coordenadas del centro articular que ha sido objeto de estudio.

En cuanto a las variables *relativas a las velocidades desarrolladas*, se han seleccionado cuatro registros, todos ellos relativos a la velocidad del CG del jugador: la velocidad tangencial del centro de gravedad del sistema lanzador más balón al final de la carrera (**VCG final carrera**), al final del impulso de frenado (**VCG final impulso frenado**), al final de la batida (**VCG final batida**), en la suelta del balón (**VCG suelta**).

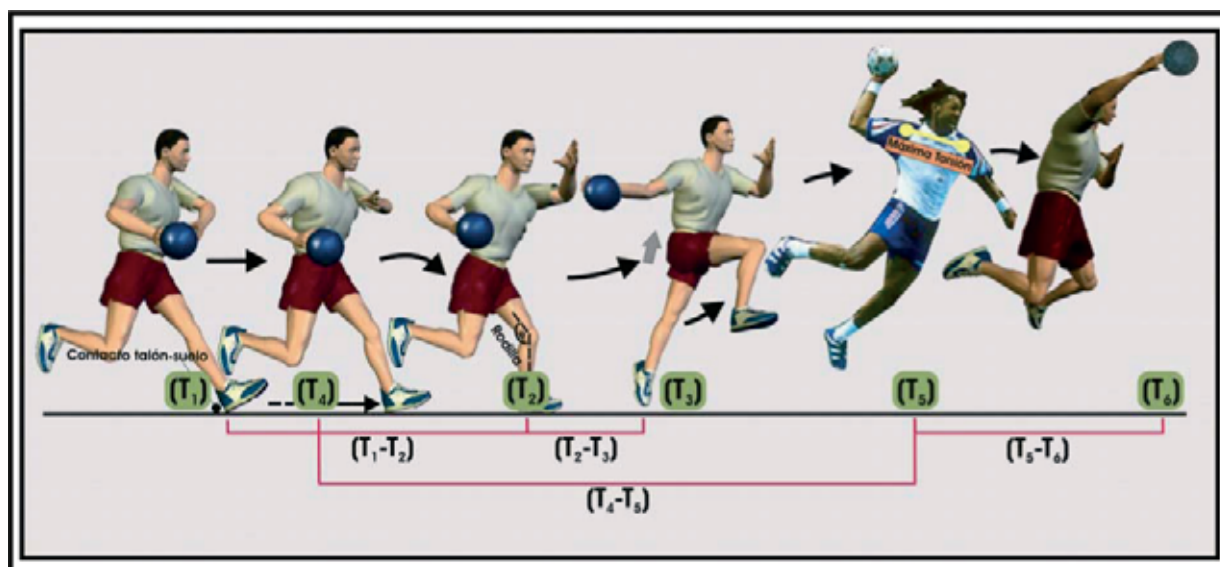


Figura 3.18. - Representación gráfica de las posiciones espaciales que determinan las fases temporales que definen el gesto de lanzamiento.

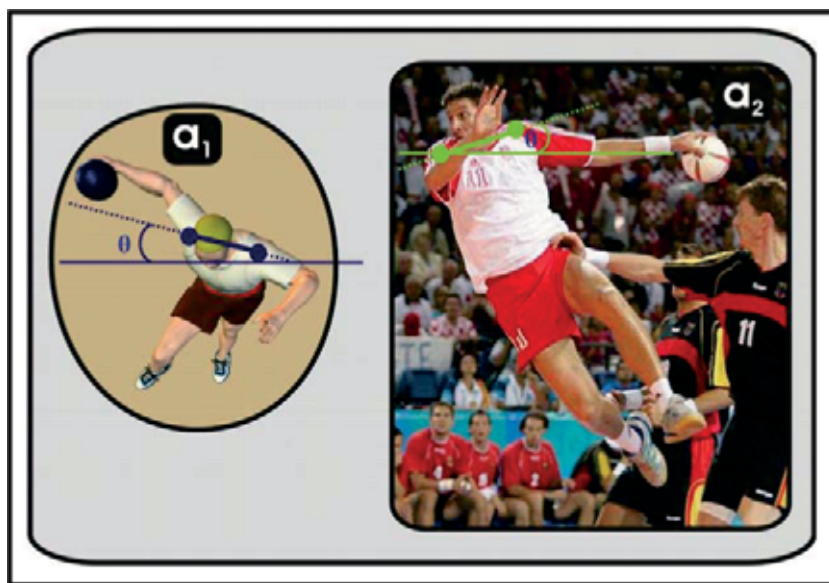


Figura 3.19.- Representación de la variable relativa a las posición segmentaria (ángulo), donde α_1 y α_2 muestran el ángulo de máxima torsión del tronco en los planos transversal y frontal, respectivamente.

Como se ha comentado anteriormente, el cálculo de las velocidades tangenciales se ha realizado mediante la primera derivada de la función de las posiciones espaciales dependientes del tiempo, obteniendo la función mediante el algoritmo de splines elevados a la quinta potencia.

En la figura 3.20. se representan gráficamente las variables relativas a las velocidades desarrolladas.

Para la *valoración de la cadena cinética* se han utilizado las velocidades tangenciales de los centros articulares de los principales miembros que actúan durante el lanzamiento. Así pues, la cadena cinética se evaluó en base a las velocidades tangenciales de: a) la articulación de la cadera (V_t *cadera*), b) la articulación del hombro (V_t *hombro*), c) la articulación del codo (V_t *codo*), d) la articulación de la muñeca (V_t *muñeca*) y e) el balón (V_t *balón*).

A través del análisis de la cadena cinética, hemos podido determinar el comienzo, el final y las características del desplazamiento de cada segmento implicado en este gesto técnico. También nos ha permitido conocer la tipología de cadena cinética desarrollada por los jugadores, en ambas situaciones contextuales (sin y con oposición), verificando las diferencias entre los sujetos experimentales.

Para el cálculos de las velocidades tangenciales referidas se ha utilizado la derivada de las funciones splines que determinan la posición de los centros articulares mencionados con respecto al tiempo.

En la tabla 3.5., se exponen de forma conjunta todos los factores biomecánicos que se han tenido en cuenta en el estudio.

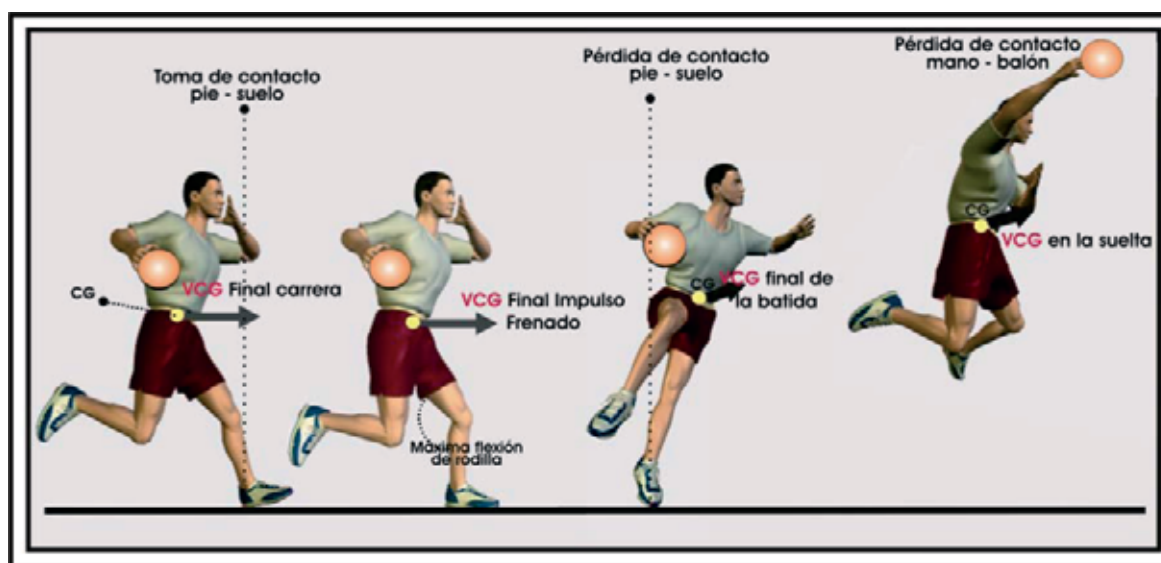


Figura 3.20.- Representación de las variables relativas a las velocidades desarrolladas.

Tabla 3.5.- Relación de los factores biomecánicos objeto de estudio.

VARIABLES DE PRODUCTO	<ul style="list-style-type: none"> · Ángulo de salida del balón · Velocidad de salida del balón · Altura de salida del balón 	<ul style="list-style-type: none"> <i>θ salida balón</i> <i>Vs salida balón</i> <i>Hs salida balón</i> <i>MáxH balón</i>
	<ul style="list-style-type: none"> · Altura del centro de gravedad · Máxima altura del CG 	<ul style="list-style-type: none"> <i>HCG salida balón</i> <i>MáxHCG</i>
	<u>Relativas a las posiciones espaciales adoptadas</u>	
	<ul style="list-style-type: none"> · Ángulo tronco brazo en los tres planos (sag., front. y transv.) · Ángulo tronco vertical en los tres planos (sag., front. y transv.) <ul style="list-style-type: none"> · Ángulo de torsión del tronco · Ángulo de torsión de hombros · Ángulo de torsión de cadera 	<ul style="list-style-type: none"> <i>θ tronco brazo</i> <i>θ tronco vertical</i> <i>θ torsión tronco</i> <i>θ torsión hombros</i> <i>θ torsión cadera</i>
	<u>Temporales</u>	
	<ul style="list-style-type: none"> · Tiempo de impulso de frenado · Tiempo de impulso de aceleración · Tiempo de fase preparatoria · Tiempo de fase de lanzamiento 	<ul style="list-style-type: none"> <i>(T1-T2)</i> <i>(T2-T3)</i> <i>(T4-T5)</i> <i>(T5-T6)</i>
	<ul style="list-style-type: none"> · Tiempo entre la máxima altura del CG y la suelta · Tiempo entre la máxima altura del balón y la suelta 	<ul style="list-style-type: none"> <i>TMáxHCG suelta</i> <i>TMáxHB suelta</i>
	<u>Relativas a las posiciones espaciales adoptadas</u>	
VARIABLES DE PROCESO	<ul style="list-style-type: none"> · Ángulo de máxima torsión del tronco 	<i>θ máxima tors-tronco</i>
	<u>Relativas a las velocidades desarrolladas</u>	
	<ul style="list-style-type: none"> · Velocidad tangencial del CG al final de la carrera · Velocidad tangencial del CG al final del impulso de frenado <ul style="list-style-type: none"> · Velocidad tangencial del CG al final de la batida · Velocidad tangencial del CG en la suelta del balón 	<ul style="list-style-type: none"> <i>VCG final carrera</i> <i>VCG final imp de frenado</i> <i>VCG final batida</i> <i>VCG suelta</i>
	<u>Evaluación de la cadena cinética desarrollada</u>	
	<ul style="list-style-type: none"> · Velocidad tangencial del balón · Velocidad tangencial de la articulación de la cadera · Velocidad tangencial de la articulación del hombro <ul style="list-style-type: none"> · Velocidad tangencial de la articulación del codo · Velocidad tangencial de la articulación de la muñeca 	<ul style="list-style-type: none"> <i>V₁ balón</i> <i>V₁ cadera</i> <i>V₁ hombro</i> <i>V₁ codo</i> <i>V₁ muñeca</i>

CAPÍTULO IV

Resultados

RESULTADOS

En este apartado se van a presentar, apoyados por tablas y figuras al objeto de facilitar la interpretación de los mismos, todos los resultados obtenidos en la investigación, referentes a los factores de análisis descritos en el apartado correspondiente al método.

Para su organización formal se ha dividido en dos apartados, según la perspectiva o técnicas de análisis utilizadas: en el primero se exponen los resultados obtenidos a partir de las técnicas de análisis de la *Metodología de Observación*, y en el segundo, se detallan los resultados correspondientes a la perspectiva principal de estudio de la *Biomecánica Deportiva*, obtenidos a través de las técnicas fotogramétricas tridimensionales. El segundo apartado, a su vez, se ha organizado en tres subapartados referidos, respectivamente, a los factores de producto, los factores de proceso y a la evaluación de las cadenas cinéticas.

Los resultados obtenidos, a través de las técnicas anteriormente descritas, se han analizado mediante la estadística descriptiva y la estadística inferencial, aunque con algunas especificidades. La estadística descriptiva se ha basado en la media (M) como medida de tendencia central, en la desviación típica (SD) y el coeficiente de variación (CV), como medidas de dispersión de los datos. Sólo en el caso de los datos cualitativos obtenidos del instrumento lista de control con opciones cerradas (sí/no), se han utilizado datos basados en proporciones. La estadística inferencial se ha basado, para los datos obtenidos a través de la metodología de observación, en el test no paramétrico para muestras relacionadas de Wilcoxon, y para los datos obtenidos a través de las técnicas fotogramétricas, en el análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas, donde se ha tenido en cuenta el factor sujetos y donde se ha manipulado el factor oposición con dos niveles: a) sin oposición y b) con oposición. Para la administración de los datos numéricos, el análisis estadístico y la representación gráfica de los resultados, se han empleado los siguientes programas informáticos para Windows: el SPSS 12.0, el Statgraphics Plus 5.1 y el Excel 2000.

4.1.- Resultados obtenidos mediante las técnicas de observación sistemática

Los aspectos y las variables analizadas en las situaciones de lanzamiento sin y con oposición, a través de las técnicas de la metodología de observación (observación sistemática), quedan reflejadas en la planilla elaborada a tal efecto para la recogida de datos (Anexo III). En la tabla 4.1., se exponen las variables que nos van a poder permitir, en cierta medida, comparar y completar los datos obtenidos a través de las técnicas fotogramétricas tridimensionales, estas variables están relacionadas con el ciclo de pasos y la trayectoria seguida por los jugadores antes de la batida, la trayectoria seguida por el cuerpo durante la batida y las características del armado de brazo.

Como se han utilizado dos instrumentos de observación sistemática distintos para cuantificar las variables, los valores que se expresan en las tablas son diferentes. En el caso de las variables valoradas a través del instrumento lista de control con opciones cerradas (si/no), los resultados se expondrán en las tablas por medio de porcentajes y, en el caso de las variables valoradas con el instrumento escala de estimación con posibilidad de seis respuestas (de 0 a 5), se expresarán en valores numéricos, obteniéndose a partir de ellos la media (M) y la desviación típica (SD).

En la figura 4.1. se muestran los resultados estadísticos relacionados con el ciclo de pasos. En dicha figura, se observa que en la situación experimental con oposición, el 47% de los jugadores realizan dos pasos de carrera previos a la batida, mientras que el 53% realizan tres pasos. En la situación experimental sin oposición ningún jugador realiza dos pasos, sino que todos, el 100% realizan el máximo de pasos permitidos por el reglamento, es decir, tres pasos de carrera, lo que nos permite afirmar que la oposición constituye una causa que hace modificar la secuencia de pasos en la preparación del lanzamiento.

En la tabla 4.2. se presentan los resultados estadísticos relacionados con la trayectoria seguida antes de la batida. Se han considerado cuatro tipos de trayectorias:

Tabla 4.1.- Aspectos y variables observadas y analizadas mediante las técnicas de observación sistemática.

ASPECTOS Y VARIABLES OBSERVADAS Y ANALIZADAS MEDIANTE LAS TÉCNICAS DE OBSERVACIÓN SISTEMÁTICA	
ASPECTOS	VARIABLES
<i>Ciclo de pasos y Trayectoria seguida antes de la batida</i>	Dos pasos de carrera antes de la batida (2P)
	Tres pasos de carrera antes de la batida (3P)
	Trayectoria frontal (TF)
	Trayectoria lateral (TL)
	Trayectoria diagonal (TD)
	Trayectoria combinada (TC)
	Cambios de dirección (CD)
	Cambios de ritmo (CR)
	Fintas de desplazamiento (FD)
<i>Trayectoria seguida durante la batida</i>	Trayectoria vertical (TV)
	Trayectoria horizontal (TH)
	Trayectoria lateral (TBL)
<i>Características del armado de brazo</i>	Amplitud del armado (AA)
	Movimientos accesorios en brazos (MAB)

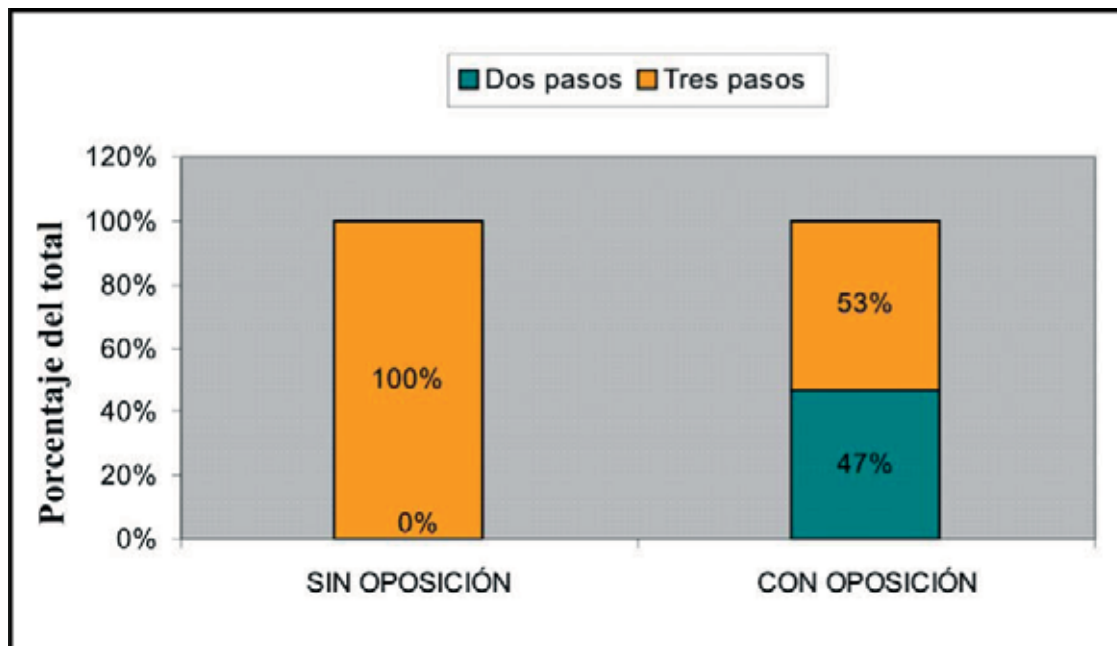


Figura 4.1.- Representación gráfica del porcentaje del total, en las situaciones de sin oposición y con oposición, de las variables dos pasos antes de la batida (2P) y tres pasos antes de la batida (3P).

Tabla 4.2.- Estadística descriptiva e inferencial (factor oposición) de las variables relacionadas con la trayectoria seguida antes de la batida: trayectoria frontal (TF), trayectoria lateral (TL), trayectoria diagonal (TD) y trayectoria combinada (TC).

	SIN OPOSICIÓN		CON OPOSICIÓN		
<i>N</i>		17		17	<i>p</i>
Trayectoria frontal (TF)	<i>M</i>	2.35	<i>M</i>	0.82	.036*
	<i>SD</i>	2.03	<i>SD</i>	1.50	
Trayectoria lateral (TL)	<i>M</i>	0.06	<i>M</i>	0.29	.414
	<i>SD</i>	0.24	<i>SD</i>	0.96	
Trayectoria diagonal (TD)	<i>M</i>	2.41	<i>M</i>	3.12	.150
	<i>SD</i>	2	<i>SD</i>	1.97	
Trayectoria combinada (TC)	<i>M</i>	0.59	<i>M</i>	1.29	.039*
	<i>SD</i>	1.29	<i>SD</i>	2.02	

trayectoria frontal (TF), determinada por el desplazamiento del jugador con balón perpendicular a la línea de portería; la trayectoria lateral (TL), cuando dicho desplazamiento es paralelo a la línea de portería; la trayectoria Diagonal (TD), definida por el desplazamiento oblicuo del jugador con respecto a la portería; y la trayectoria combinada (TC), que resulta de combinar las anteriores. En la citada tabla y en la figura 4.2., se observa que, excepto para la variable trayectoria frontal (TF), en las otras tres trayectorias, el promedio aumenta con la oposición, en mayor o menor medida. En el caso de la situación experimental sin oposición, las variables trayectoria frontal (TF) y trayectoria diagonal (TD) son las que poseen valores de estimación mayores ($M= 2.35$, $SD= 2.03$ y $M= 2.41$, $SD= 2$, en ambas trayectorias respectivamente), es decir, son las trayectorias que más aparecen en dicha situación experimental. Sin embargo en las situaciones con oposición, encontramos en las variables trayectoria diagonal (TD) y trayectoria combinada (TC), los valores más altos ($M= 3.12$, $SD= 1.97$ y $M= 1.29$, $SD= 2.02$, en ambas trayectorias respectivamente). La variable trayectoria lateral (TL) presenta valores muy pequeños, tanto sin oposición ($M= 0.06$, $SD= 0.24$) como con oposición ($M= 0.29$, $SD= 0.96$). Los resultados expuestos nos permiten afirmar que la oposición de los jugadores de campo es un factor que condiciona la trayectoria de desplazamiento previo a la ejecución del lanzamiento, aunque en las dos situaciones la opción que se ha utilizado con más frecuencia ha sido la trayectoria diagonal.

La estadística inferencial, como se expone en la tabla 4.2., muestra que existe cierta significación ($p < 0.05$) en las variables trayectoria frontal (TF) y trayectoria combinada (TC). Con respecto a la trayectoria frontal esta diferencia estadísticamente significativa pone de manifiesto que dicha opción es menos utilizada cuando existe oposición, mientras que la trayectoria combinada se utiliza con más frecuencia en la situación experimental con oposición, siendo prácticamente nula cuando ésta no existe.

En la tabla 4.3. se presentan los resultados estadísticos relacionados con las variables siguientes: cambios de dirección (CD), definidos como la ruptura de la trayectoria de desplazamiento y adopción de otra nueva trayectoria; cambios de ritmo (CR), definidos como los cambios bruscos de aceleración o deceleración durante el desplazamiento; y fintas de desplazamiento (FD), definidas como aquellas acciones de engaño o falseo producidas mediante el desplazamiento, con el objetivo de desequilibrar al defensor retardando su intervención. Estas tres variables, en las situaciones sin oposición, presentan valores de cero, puesto que ningún jugador realiza ninguna de estas acciones, por el contrario, en las situaciones con oposición sí se aprecian estas acciones aunque con valores medios de estimación relativamente bajos ($M= 1.18$, $SD= 1.95$; $M= 0.41$, $SD= 1.24$ y $M= 0.59$, $SD= 1.61$, en las tres variables respectivamente).

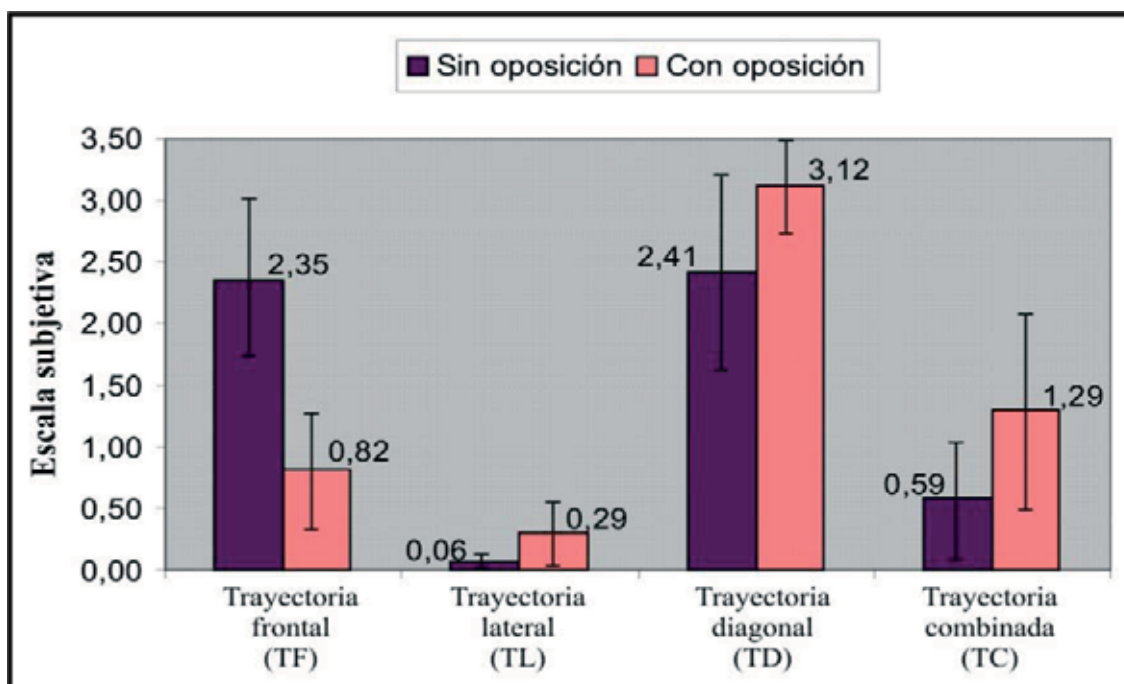


Figura 4.2.- Representación gráfica del promedio en las situaciones de sin oposición y con oposición de las variables trayectoria frontal (TF), trayectoria lateral (TL), trayectoria diagonal (TD), trayectoria combinada (TC).

Tabla 4.3.- Estadística descriptiva e inferencial (factor oposición) de las siguientes variables: cambios de dirección (CD), cambios de ritmo (CR) y fintas de desplazamiento (FD).

	SIN OPOSICIÓN		CON OPOSICIÓN		
<i>N</i>	17		17		<i>p</i>
Cambios de dirección (CD)	<i>M</i>	0	<i>M</i>	1.18	.039*
	<i>SD</i>	-	<i>SD</i>	1.95	
Cambios de ritmo (CR)	<i>M</i>	0	<i>M</i>	0.41	.180
	<i>SD</i>	-	<i>SD</i>	1.24	
Fintas de desplazamiento (FD)	<i>M</i>	0	<i>M</i>	0.59	.157
	<i>SD</i>	-	<i>SD</i>	1.61	

La estadística inferencial, como se expone en la tabla 4.3., muestra que existe cierta significación ($p < 0.05$) en la variable cambios de dirección (CD) con respecto al factor oposición. Estos resultados nos permite afirmar que cuando no existe oposición la estructura secuencial de desplazamiento previo al lanzamiento se mantiene con una estructura similar a las habilidades discretas en una cadencia uniforme, por el contrario, las modificaciones a dicha estructura se procuran cuando aparece la oposición de los jugadores de campo y especialmente con cambios de dirección.

En la tabla 4.4. y en la figura 4.3., se presentan los resultados estadísticos relacionados con la trayectoria seguida durante la batida. Se han considerado tres tipos de trayectoria: trayectoria vertical (TV), determinada por el desplazamiento del cuerpo durante el vuelo hacia arriba y donde los pies, en la recepción tras el salto, contactan con el suelo en el mismo lugar donde se produce la batida; la trayectoria horizontal (TH), determinada por el desplazamiento del cuerpo hacia delante y donde los pies, en la recepción, contactan con el suelo en una posición más cercana a la portería; y la trayectoria lateral (TBL), definida por el desplazamiento del jugador durante el vuelo hacia delante y hacia un lado, con respecto a la portería, y en la fase de caída los pies contactan con el suelo en una posición a izquierda o derecha de la posición de batida. En dicha tabla se muestra que la trayectoria más característica y predominante en ambas situaciones experimentales de sin y con oposición, es la trayectoria vertical (TV), esta variable en la situación sin oposición presenta unos valores ligeramente inferiores a la situación con oposición ($M = 3.53$, $SD = 0.61$ y $M = 3.88$, $SD = 0.76$, respectivamente), podemos decir que los lanzamientos se realizan intentando conseguir la mayor altura posible. Tras la variable trayectoria vertical (TV), la trayectoria horizontal (TH) es la que presenta los valores más elevados ($M = 2.29$, $SD = 1.40$ y $M = 1.88$, $SD = 1.32$, para las situaciones de sin y con oposición respectivamente). La variable trayectoria lateral (TBL) obtiene un valor medio de estimación mayor en la situación experimental con oposición y, comparándola con las dos trayectorias anteriores, es la que presenta relativamente los valores más pequeños ($M = 0.59$, $SD = 1.29$ y $M = 1.18$, $SD = 1.58$, para las situaciones de sin y con oposición respectivamente).

Tabla 4.4.- Estadística descriptiva e inferencial (factor oposición) de las variables relacionadas con la trayectoria seguida durante de la batida: trayectoria vertical (TV), trayectoria horizontal (TH) y trayectoria lateral (TBL).

	SIN OPOSICIÓN		CON OPOSICIÓN		p
	N	17	17	17	
Trayectoria vertical (TV)	M	3.53	M	3.88	.166
	SD	0.61	SD	0.76	
Trayectoria horizontal (TH)	M	2.29	M	1.88	.279
	SD	1.40	SD	1.32	
Trayectoria lateral (TBL)	M	0.59	M	1.18	.201
	SD	1.29	SD	1.58	

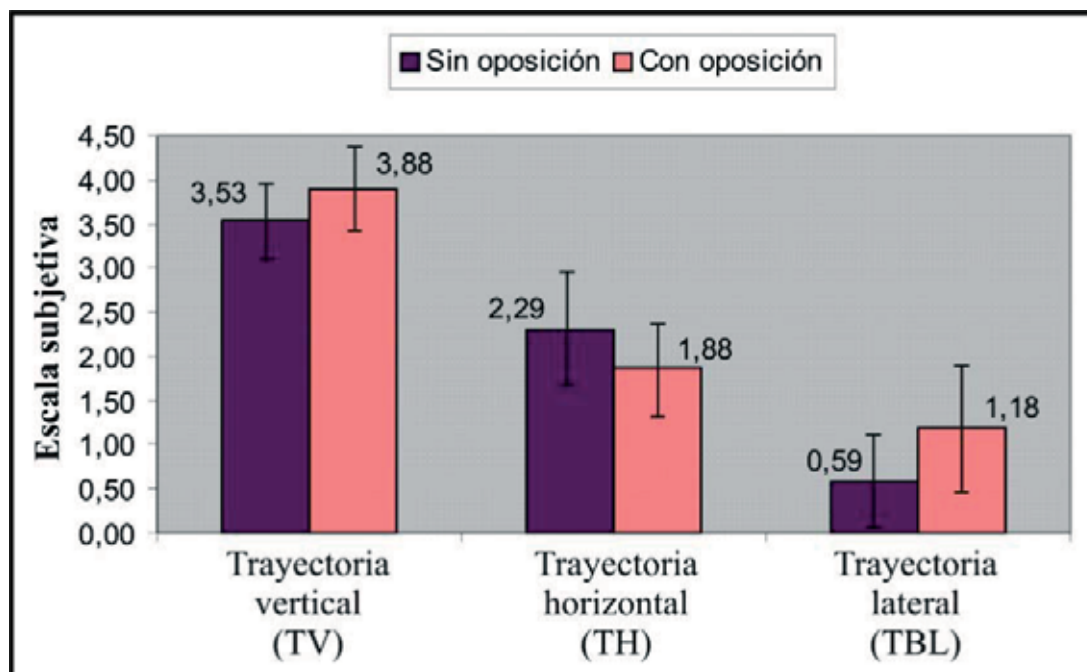


Figura 4.3.- Representación gráfica del promedio en las situaciones de sin oposición y con oposición de las variables trayectoria vertical (TV), trayectoria horizontal (TH) y trayectoria lateral (TBL).

La estadística inferencial en estas tres variables, como se muestra en la tabla 4.4., no presenta diferencias significativas, entre las situaciones de lanzamiento determinadas por el factor oposición (sin y con oposición).

En la tabla 4.5. y figura 4.4., se presentan los resultados estadísticos relacionados con las características del armado del brazo. Se han considerado dos tipos de variables: la amplitud del armado (AA), definida como el máximo recorrido de las palancas articulares implicadas en la acción del armado, provocando que codo, muñeca y balón se encuentren al inicio de la fase de lanzamiento, lo más alejados del cuerpo; y los movimientos accesorios en brazos (MAB), definidos como aquellas acciones realizadas por los brazos, que no son propias de la acción técnica de armado y que no contribuyen a la eficacia mecánica del mismo. El valor de estimación de la variable amplitud del armado (AA) es ligeramente mayor en las situaciones de lanzamiento con oposición ($M= 2.82$, $SD= 1.42$ y $M= 2.94$, $SD= 0.94$, para las situaciones de sin y con oposición respectivamente), al igual que en el caso de la variable movimientos accesorios en brazos (MAB), que presenta valores de estimación de $M= 2.12$ y $SD= 1.94$ sin oposición y de $M= 2.47$ y $SD= 1.94$ con oposición.

La estadística inferencial (tabla 4.5.) para estas dos variables, no revela ninguna diferencia significativa en cuanto al factor oposición, lo que nos permite afirmar que el factor oposición no afecta a las dos variables relacionadas con la amplitud del armado y con los movimientos accesorios del brazo.

Tabla 4.5.- Estadística descriptiva e inferencial (factor oposición) de las variables relacionadas con las características del armado del brazo: amplitud de armado (AA) y movimientos accesorios en brazos (MAB).

	SIN OPOSICIÓN		CON OPOSICIÓN		
<i>N</i>	17		17		<i>p</i>
Amplitud del armado (AA)	<i>M</i>	2.82	<i>M</i>	2.94	.094
	<i>SD</i>	1.42	<i>SD</i>	0.94	
Movimientos accesorios en brazos (MAB)	<i>M</i>	2.12	<i>M</i>	2.47	.349
	<i>SD</i>	1.94	<i>SD</i>	1.94	

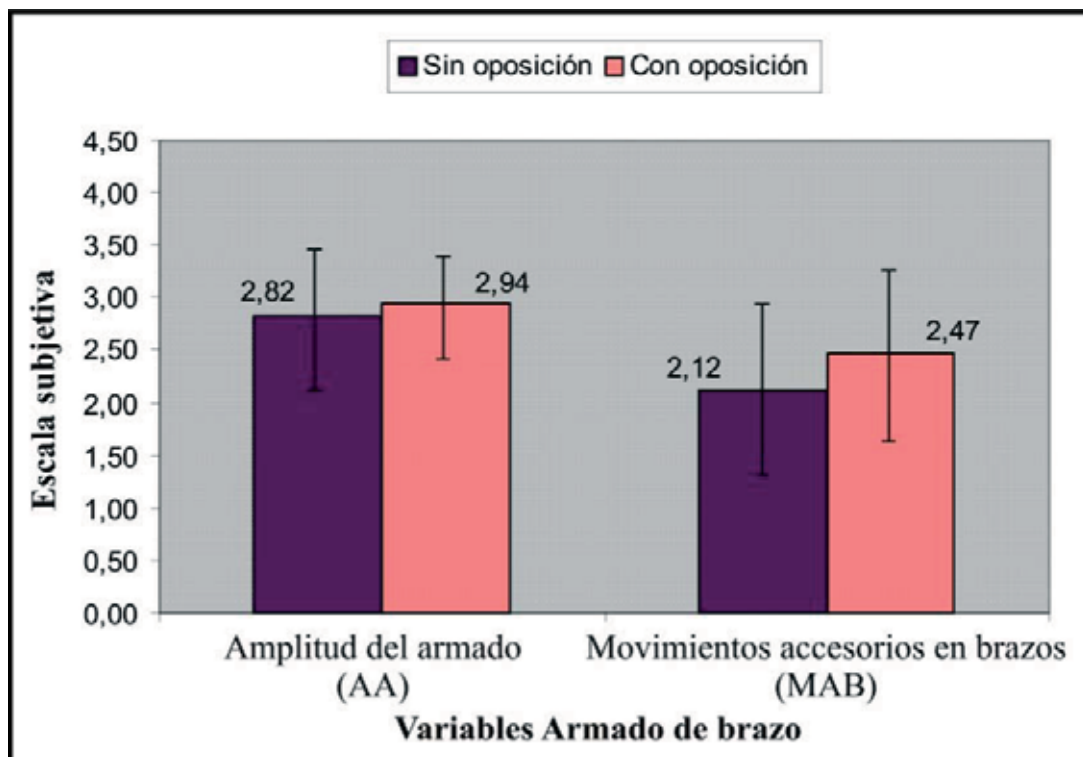


Figura 4.4.- Representación gráfica del promedio en las situaciones de sin oposición y con oposición de las variables: amplitud de armado (AA) y movimientos accesorios en brazos (MAB).

4.2.- Resultados obtenidos mediante las técnicas fotogramétricas tridimensionales

Este apartado se ha organizado en tres subapartados referidos, respectivamente, a los factores de producto, los factores de proceso y a la evaluación de la cadena cinética. Los resultados obtenidos a través de las técnicas fotogramétricas tridimensionales se han analizado mediante la estadística descriptiva y la estadística inferencial. La estadística descriptiva se ha basado en la media (M) como medida de tendencia central, en la desviación típica (SD) y el coeficiente de variación (CV), como medidas de dispersión de los datos. La estadística inferencial llevada a cabo por medio del análisis de varianza nos indicará, gracias al valor de F , el nivel de significación (p). Para este análisis de varianza se han introducido como variables de entrada los factores sujetos y oposición, en este orden.

4.2.1.- Resultados de los factores de producto

Como ya se describió en el apartado correspondiente al método, las variables que se han registrado como factores de producto son aquellas que se cuantifican al final de la fase de lanzamiento, considerando en nuestro estudio las siguientes: **a)** ángulo de salida del balón (α salida balón), **b)** velocidad de salida de salida del balón (Vs salida balón), **c)** altura de salida del balón (Hs salida balón) **d)** altura del centro de gravedad del sistema jugador más balón en el instante de la suelta (HCG salida balón) y **e)** las relativas a las posiciones espaciales adoptadas en el momento de la suelta del balón (ángulo tronco-brazo en el plano sagital y frontal - α tronco brazo_{sagital y frontal}, ángulo tronco-vertical en los planos sagital, frontal y transversal - α tronco vertical_{sagital, frontal y transversal}, y el ángulo de torsión del tronco, respecto a la cadera y a los hombros - α torsión tronco-).

En la tabla 4.6. se presentan los resultados de la estadística descriptiva e inferencial referente a las variables de producto relacionadas con el ángulo de salida del balón (α salida balón), la velocidad tangencial de salida del balón (Vs salida balón), la altura de salida del balón (Hs salida balón), la máxima altura del balón ($MáxH$ balón), la altura del centro de gravedad del sistema jugador más balón en el instante de la suelta del balón (HCG salida balón) y la máxima altura del CG ($MáxH$ CG).

Tabla 4.6.- Estadística descriptiva e inferencial (factor oposición) de las variables ángulo de salida del balón (θ salida balón), velocidad tangencial de salida del balón (V_s salida balón), altura de salida del balón (H_s salida balón), máxima altura del balón ($MáxH$ balón), altura del centro de gravedad del sistema jugador más balón en el instante de la suelta del balón (HCG salida balón) y máxima altura del CG ($MáxH$ CG).

	N	SIN OPOSICIÓN		CON OPOSICIÓN		F	p
		11		11			
Ángulo de salida del balón (θ salida balón)	M	-8.99	M	-9.43			
	SD	4.22	SD	4.39	.052	.8270	
	CV	-46.96	CV	-46.52			
Velocidad tangencial de salida del balón (V_s salida balón)	M	25.03	M	24.36			
	SD	1.50	SD	1.48	2.801	.1252	
	CV	5.99	CV	6.06			
Altura de salida del balón (H_s salida balón)	M	2.68	M	2.69			
	SD	0.12	SD	0.08	.039	.8500	
	CV	4.47	CV	3.04			
Máxima altura del balón ($MáxH$ balón)	M	2.70	M	2.71			
	SD	0.11	SD	0.08	.064	.8083	
	CV	4.09	CV	2.82			
Altura del CG del sistema jugador más balón (HCG salida balón)	M	1.64	M	1.58			
	SD	0.07	SD	0.08	2.534	.1425	
	CV	4.56	CV	5.35			
Máxima altura del CG del sistema jugador más balón ($MáxH$ CG)	M	1.70	M	1.66			
	SD	0.10	SD	0.09	1.098	.3194	
	CV	6.11	CV	5.35			

Los datos que muestra la tabla 4.6., en cuanto a la estadística descriptiva, indican que la trayectoria del ángulo de salida del balón (α , *salida balón*) es negativa, lo que nos permite afirmar que su trayectoria es siempre hacia abajo, tanto en los lanzamientos sin oposición como en los realizados con oposición. En las dos situaciones, los ángulos de salida del balón son similares ($M= -8.99^\circ$, $SD= 4.22^\circ$; $M= -9.43^\circ$, $SD= 4.39^\circ$, para las situaciones de sin y con oposición, respectivamente) y la estadística inferencial no nos permite establecer diferencias estadísticamente significativas entre las situaciones experimentales propuestas.

En cuanto a la velocidad tangencial de salida del balón (V_s *salida balón*), se aprecia que la media es ligeramente superior cuando los lanzamientos se realizan sin oposición ($M=25.03$ m/s, $SD= 1.50$ m/s; $M= 24.36$ m/s, $SD= 1.48$ m/s, para las situaciones de sin y con oposición, respectivamente), tanto las desviaciones típicas como los coeficientes de variación son relativamente bajos, lo que nos confirma una buena estabilidad de esta variable tan importante en los lanzamientos a portería. A pesar de que las desviaciones típicas son reducidas y la media ligeramente superior en los lanzamientos sin oposición, la estadística inferencial, en cuanto al factor experimental (oposición), no nos permite establecer diferencias significativas ($F= 2.80$; $p>0.05$) entre las dos situaciones experimentales.

En la tabla 4.7. se presenta el resumen de la estadística inferencial (ANOVA para medidas repetidas) para la variable velocidad tangencial de salida del balón (V_s *salida balón*). En dicha tabla se observa que, como se ha expuesto en el párrafo anterior, no existen diferencias significativas en relación con la situación experimental oposición (B: BALONMAN.factor), aunque refleja la existencia de ciertas diferencias estadísticamente significativas con respecto al factor sujetos ($p\gg 0.05$), esto nos permite afirmar que existen diferencias en cuanto a la velocidad de salida del balón entre los sujetos analizados.

Tabla 4.7.- Estadística inferencial (ANOVA de medidas repetidas), para el factor sujetos y para el factor experimental (oposición), de la variable velocidad tangencial de salida del balón (Vs salida balón).

Analysis of Variance for BALONMAN. (Vs salida balón)- Type III Sums of Squares					
Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:BALONMAN.sujetos	35.293427	10	3.5293427	3.960	.0203
B:BALONMAN.factor	2.495823	1	2.4958227	2.801	.1252
RESIDUAL	8.9120273	10	.8912027		
TOTAL (CORRECTED)	46.701277	21			

La estadística descriptiva relativa a las variables altura de salida del balón (***Hs salida balón***) y máxima altura del balón (***MáxH balón***), como se aprecia en la tabla 4.6. y figura 4.5., presenta valores similares en las dos condiciones experimentales ($M= 2.68$ m, $SD= 0.12$ m y $M= 2.69$ m, $SD= 0.08$ m, para la variable altura de salida del balón y para la variable máxima altura del balón $M= 2.70$ m, $SD= 0.11$ m y $M= 2.71$ m, $SD= 0.08$ m, en las situaciones de sin y con oposición, respectivamente).

La estadística inferencial de estas variables, en cuanto al factor sujetos y al factor experimental (oposición), no nos permite establecer diferencias significativas. Siguiendo con el análisis de estas dos variables (***Hs salida balón*** y ***MáxH balón***), la diferencia entre sus valores medios es de 0.02 m (en ambas situaciones experimentales de sin y con oposición), siendo sus respectivas desviaciones típicas y coeficientes de variación también relativamente pequeños y similares, lo que pone de manifiesto que los jugadores sueltan el balón en un tiempo muy próximo a la obtención de su máxima altura de salto, produciéndose, en todos los casos, la salida del balón instantes después de obtener esta máxima altura.

En cuanto a las variables altura del CG del sistema jugador más balón en el instante de la suelta del balón (***HCG salida balón***) y máxima altura del CG (***MáxH CG***), en la tabla 4.6. y figura 4.5., se puede apreciar que en la situación experimental con oposición, ambas variables disminuyen su valor ($M= 1.64$ m, $SD= 0.07$ m y $M= 1.58$ m, $SD= 0.08$ m, para la variable altura del CG del sistema jugador más balón y para la variable máxima altura del CG $M= 1.70$ m, $SD= 0.10$ m y $M= 1.66$ m, $SD= 0.09$ m, en las situaciones de sin y con oposición, respectivamente). La diferencia entre sus valores medios es de 0.06 m en la situación experimental sin oposición y 0.08 m en la situación con oposición, siendo sus respectivas desviaciones típicas y coeficientes de variación también relativamente pequeños y similares. Esto corrobora los resultados de las variables anteriores (***Hs salida balón*** y ***MáxH balón***), es decir, que los jugadores sueltan el balón en un tiempo muy próximo a la obtención de su máxima altura de salto, produciéndose, en todos los casos, la salida del balón instantes después de obtener esta máxima altura.

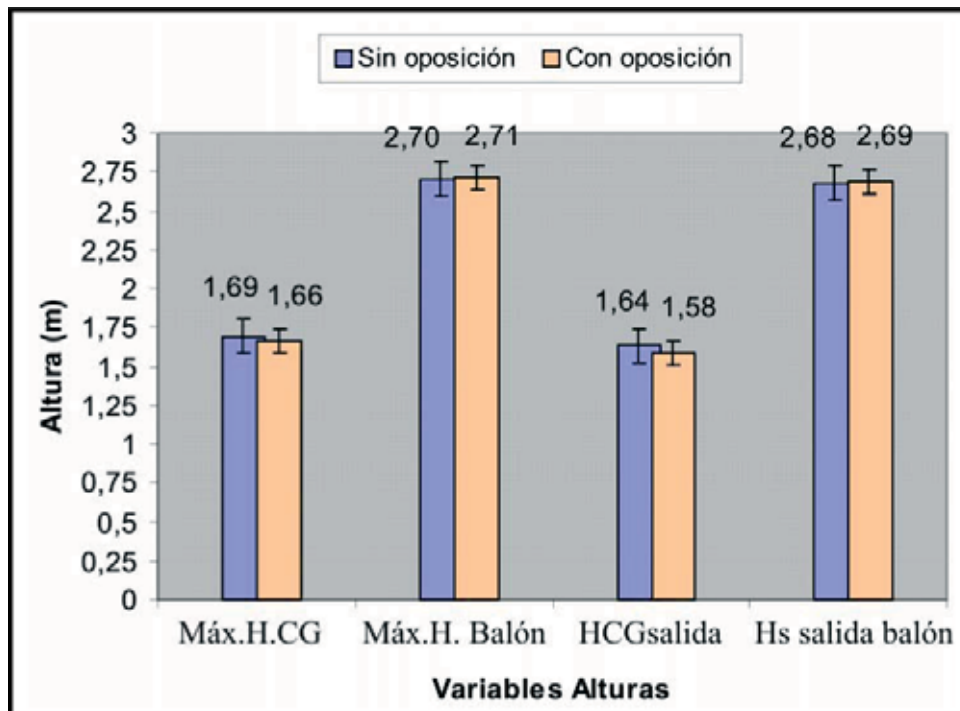


Figura 4.5.- Representación gráfica del promedio en las situaciones de sin oposición y con oposición de las variables: máxima altura del CG (**MáxH** CG), máxima altura del balón (**MáxH** balón), altura del centro de gravedad del sistema jugador más balón en el instante de la suelta del balón (**HCG** salida balón), altura de salida del balón (**Hs** salida balón).

La estadística inferencial de estas dos variables (**HCG salida balón** y **MáxH CG**) no nos permite afirmar que existan diferencias estadísticamente significativas con respecto a la situación experimental (oposición), con unos valores de $F=2.53$ ($p>0.05$), para **HCG salida balón**, y de $F=1.1$ ($p>0.05$) para **MáxH CG**. Siguiendo con el análisis inferencial, en la tabla 4.8. se presenta el resumen general del análisis de varianza para la variable máxima altura del CG del sistema (**MáxH CG**), donde se confirma la falta de significación en lo referente al factor oposición, aunque se muestra una cierta significación para el factor sujetos, ($p\gg 0.05$) (A: BALONMAN.sujetos), lo que nos permite confirmar las diferencias existentes entre los sujetos analizados con respecto a esta variable.

En la tabla 4.9., se exponen los resultados estadísticos de las variables ángulos relativas a las posiciones espaciales adoptadas en el momento de la suelta del balón. Todas estas variables ángulos se encuentran representadas gráficamente en la figura 3.17. del capítulo referente al método. Es conveniente hacer ciertas aclaraciones a los valores relacionados con el cuadrante donde se obtienen dichos ángulos, lo que se refleja en el registro mediante valores positivos y negativos y que para su descripción se han utilizado los siguientes criterios para cada ángulo.

Para el ángulo tronco brazo en los tres planos, se han tomado los siguientes criterios: a) en el plano sagital, el valor del ángulo será positivo cuando el codo esté más adelantado que el hombro, es decir, el valor positivo mide la flexión del brazo y el negativo la extensión; b) en el plano frontal, el valor positivo mide el valor de abducción del brazo y, c) en el plano transversal, el valor positivo se asigna cuando el codo está más adelantado que el hombro.

Para el ángulo tronco-vertical en su proyección en los tres planos, se han tenido en cuenta los siguientes criterios: a) en el plano sagital, el valor es positivo cuando el ángulo se mide en el primer cuadrante, lo que necesariamente implica que el tronco esté inclinado hacia delante con respecto a la vertical y negativo cuando se mide en el segundo cuadrante, indicando que la inclinación del tronco es hacia atrás; b) con respecto al plano frontal, se ha considerado el mismo criterio, su medida en el primer cuadrante se ha considerado como positivo, lo que implica que el tronco, al final del lanzamiento, está inclinado hacia el lado del brazo ejecutor, mientras que el valor negativo se ha considerado cuando su medida se realiza en el segundo cuadrante, lo que implica que el jugador está inclinado, con respecto a la vertical, hacia el lado no ejecutor y presupone un lanzamiento en rectificado y, c) en el plano transversal, se sigue con este mismo criterio indicado para los dos planos ya descritos, siendo positivo cuando el tronco está orientado de forma diagonal hacia el brazo ejecutor con respecto a la dirección de lanzamiento (según sistema de referencia).

Analysis of Variance for BALONMAN. <i>MáxH</i> CG - Type III Sums of Squares					
Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A: BALONMAN.sujetos	.1461273	10	.0146127	3.673	.0260
B: BALONMAN.factor	.0043682	1	.0043682	1.098	.3194
RESIDUAL	.0397818	10	.0039782		
TOTAL (CORRECTED)	.1902773	21			

Tabla 4.8. - Estadística inferencial (ANOVA de medidas repetidas), para el factor sujetos y para el factor experimental (oposición), de la variable máxima altura del CG (*MáxH* CG).

Tabla 4.9.- Estadística descriptiva e inferencial (factor oposición) de las variables relativas a las posiciones espaciales adoptadas en el momento de la suelta del balón: ángulo tronco-brazo en los planos sagital y frontal con respecto al sistema de referencia utilizado ($\theta_{\text{tronco-brazo}_{\text{sagital}}}$, $\theta_{\text{tronco-brazo}_{\text{frontal}}}$), ángulo tronco-vertical en los tres planos ($\theta_{\text{tronco-vertical}_{\text{sagital}}}$, $\theta_{\text{tronco-vertical}_{\text{frontal}}}$ y $\theta_{\text{tronco-vertical}_{\text{transversal}}}$) y el ángulo de torsión del tronco ($\theta_{\text{torsión tronco}}$).

N	SIN OPOSICIÓN		CON OPOSICIÓN		F	p
	11	11	11	11		
Ángulo tronco-brazo en el plano sagital ($\theta_{\text{tronco-brazo}_{\text{sagital}}}$)	M	147.55	M	146.64	.037	.8528
	SD	11.38	SD	12.94		
	CV	7.71	CV	8.82		
Ángulo tronco-brazo en el plano frontal ($\theta_{\text{tronco-brazo}_{\text{frontal}}}$)	M	119	M	129.18	1.702	.2213
	SD	17.04	SD	21.46		
	CV	14.32	CV	16.62		
Ángulo tronco-vertical en el plano sagital ($\theta_{\text{tronco-vertical}_{\text{sagital}}}$)	M	16.91	M	13.75	.760	.4129
	SD	6.32	SD	11.94		
	CV	37.35	CV	86.79		
Ángulo tronco-vertical en el plano frontal ($\theta_{\text{tronco-vertical}_{\text{frontal}}}$)	M	-35.55	M	-35.73	.006	.9392
	SD	7.75	SD	9.26		
	CV	-21.80	CV	-25.93		
Ángulo tronco-vertical en el plano transversal ($\theta_{\text{tronco-vertical}_{\text{transversal}}}$)	M	-65.45	M	-66.82	.081	.7851
	SD	13.08	SD	17.59		
	CV	-19.98	CV	-26.33		
Ángulo de torsión del tronco ($\theta_{\text{torsión tronco}}$)	M	-21.64	M	-18.27	.953	.3623
	SD	13.12	SD	8.60		
	CV	-60.65	CV	-47.08		

Para el ángulo de torsión del tronco se ha considerado la posición relativa entre el eje de hombros y el de caderas, siendo dicho valor positivo cuando existe torsión del tronco hacia el lado dominante con respecto a la cadera y negativo cuando dicha torsión entre el eje de hombros y el de caderas se produce hacia el lado no dominante.

En la tabla 4.9. y en la figura 4.6. se observa que la variable ángulo tronco-brazo en el plano sagital ($\angle_{\text{tronco-brazo}}^{\text{sagital}}$) es similar en las situaciones sin y con oposición ($M= 147.55^\circ$, $SD= 11.38^\circ$, sin oposición y $M= 146.64^\circ$, $SD= 12.94^\circ$, en situación de oposición). Considerando los valores relativamente bajos de las desviaciones típicas, en las dos situaciones, debemos de considerar una posición final en la suelta muy estable en todos los sujetos y situaciones. La variable ángulo tronco-brazo en el plano frontal ($\angle_{\text{tronco-brazo}}^{\text{frontal}}$) aumenta ligeramente cuando existe oposición ($M= 119^\circ$, $SD= 17.04^\circ$, en situación sin oposición y $M= 129.18^\circ$, $SD= 21.46^\circ$, con oposición), aunque la estadística inferencial no nos permite decir que existan diferencias significativas entre las dos situaciones experimentales. Si analizamos las variables ángulo tronco-brazo tanto en el plano sagital como en el frontal, podemos inferir que cuanto más se aproximen sus valores a 180° , la altura de salida del balón tiende a ser mayor, ya que se incrementa la distancia entre el CG del sistema y el balón.

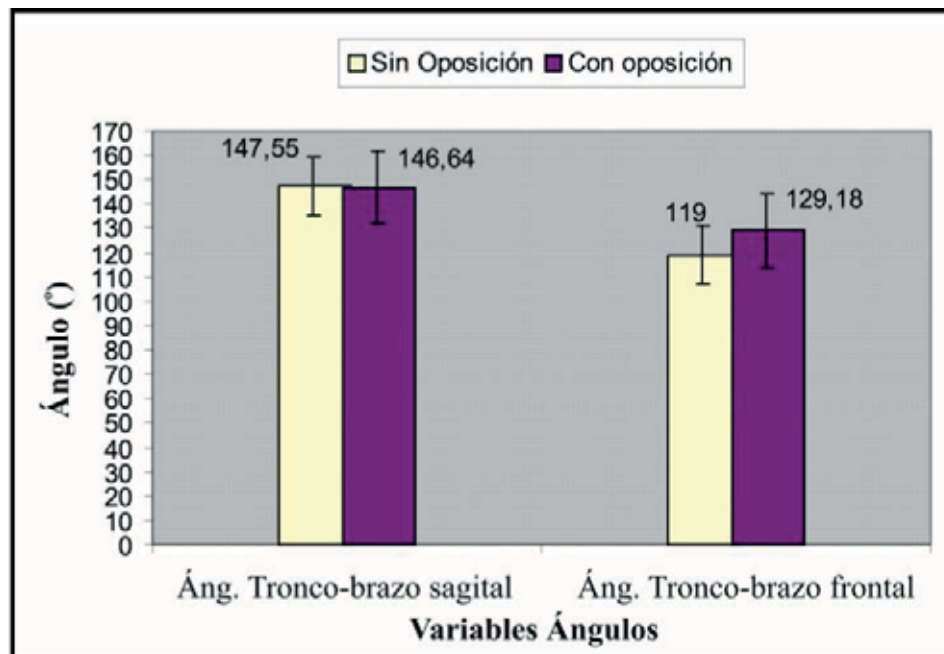


Figura 4.6.- Representación gráfica del promedio en las situaciones de sin oposición y con oposición de las variables ángulos: ángulo tronco-brazo en los planos sagital y frontal con respecto al sistema de referencia utilizado ($\alpha_{\text{tronco-brazo}_{\text{sagital}}}$ y $\alpha_{\text{tronco-brazo}_{\text{frontal}}}$).

Tal y como se muestra en la tabla 4.9. y en la figura 4.7., la media de la variable ángulo tronco-vertical en el plano sagital ($\angle \text{tronco-vertical}_{\text{sagital}}$) mantiene, en todos los casos valores positivos, lo que nos indica que la suelta del balón se produce con una ligera inclinación del tronco hacia delante. Dicho ángulo disminuye con el factor oposición ($M= 16.91^\circ$, $SD= 6.32^\circ$, sin oposición y $M= 13.75^\circ$, $SD= 11.94^\circ$, con oposición). La estadística inferencial no muestra diferencias estadísticamente significativas entre las dos situaciones experimentales (sin y con oposición). La media de los ángulos en los planos frontal y transversal ($\angle \text{tronco-vertical}_{\text{frontal}}$ y $\angle \text{tronco-vertical}_{\text{transversal}}$) es similar en las dos situaciones experimentales ($M=-35.55^\circ$, $SD= 7.75^\circ$ y $M=-35.73$, $SD=9.26$, para el plano frontal y para el transversal $M=-65.45^\circ$, $SD= 13.08^\circ$ y $M=-66.82$, $SD=17.59$, en las situaciones de sin y con oposición, respectivamente). Si analizamos la variable ángulo tronco-vertical en el plano frontal ($\angle \text{tronco-vertical}_{\text{frontal}}$), el valor negativo de estos datos nos indica que, en todos los casos, se produce una inclinación del tronco hacia el lado no dominante, es decir, que se lanza en rectificado, en las dos situaciones experimentales, por lo que el factor oposición no tiene efecto sobre dicha variable y, a pesar de que no existe oposición, los jugadores también lanzan en rectificado, aunque debemos de considerar que la variabilidad en cuanto al valor del ángulo es mayor cuando existe oposición.

En el caso de la variable ángulo de torsión del tronco ($\angle \text{torsión tronco}$), la media disminuye ligeramente en las situaciones de lanzamiento realizadas con oposición defensiva ($M= -21.64^\circ$ y $SD= 13.12^\circ$, sin oposición y $M= -18.27^\circ$ y $SD= 8.60^\circ$, con oposición), tal y como se muestra en la tabla 4.9. y en la figura 4.8. El valor negativo de esta variable indica que en todos los lanzamientos, en el momento de la suelta, hay una ligera distorsión del tronco con respecto a la cadera hacia el lado no dominante.

La estadística inferencial de todas estas variables relativas a las posiciones espaciales adoptadas en el momento de la suelta del balón, pone de manifiesto que no existen diferencias significativas en ninguna de ellas, en lo referente al factor experimental (oposición), pero sí encontramos una cierta significación ($F= 4.051$; $pd \gg 0.05$) en la variable ángulo tronco-vertical en el plano frontal ($\angle \text{tronco-vertical}_{\text{frontal}}$), en cuanto al factor sujetos, como se observa en la tabla 4.10. Esto significa que la oposición no condiciona el nivel de rectificado del lanzamiento, sin embargo, cada sujeto lo realiza de un modo diferente, lo que confirma que la ejecución técnica tiene un componente individual.

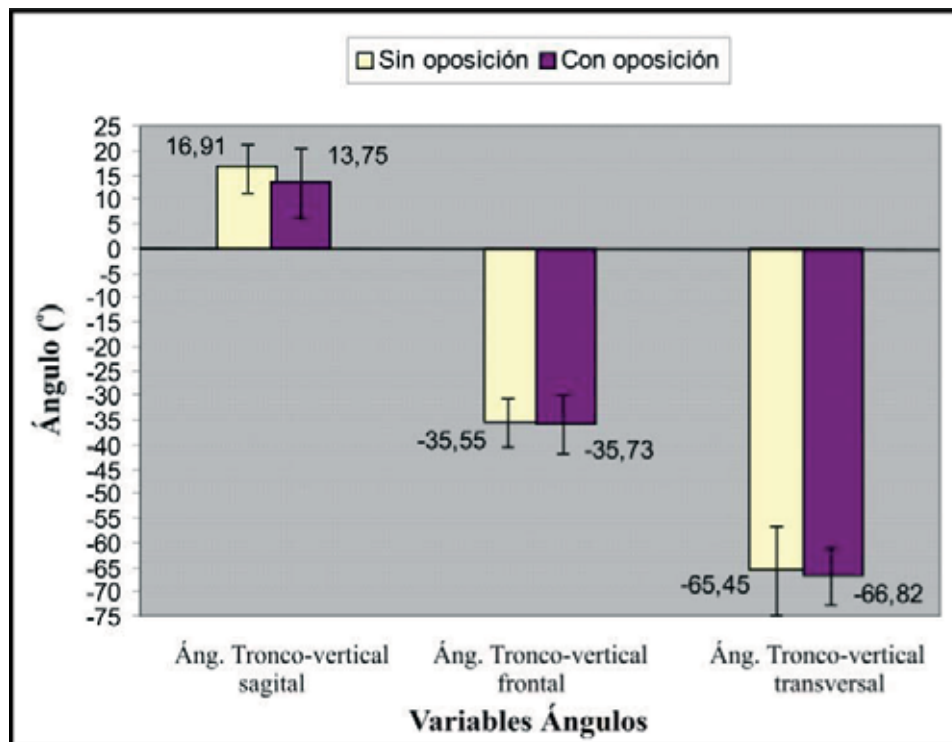


Figura 4.7.- Representación gráfica del promedio en las situaciones de sin oposición y con oposición de las variables ángulos: ángulo tronco-vertebral en los tres planos (, tronco-vertebral_{sagital} , tronco-vertebral_{frontal} y , tronco-vertebral_{transversal}).

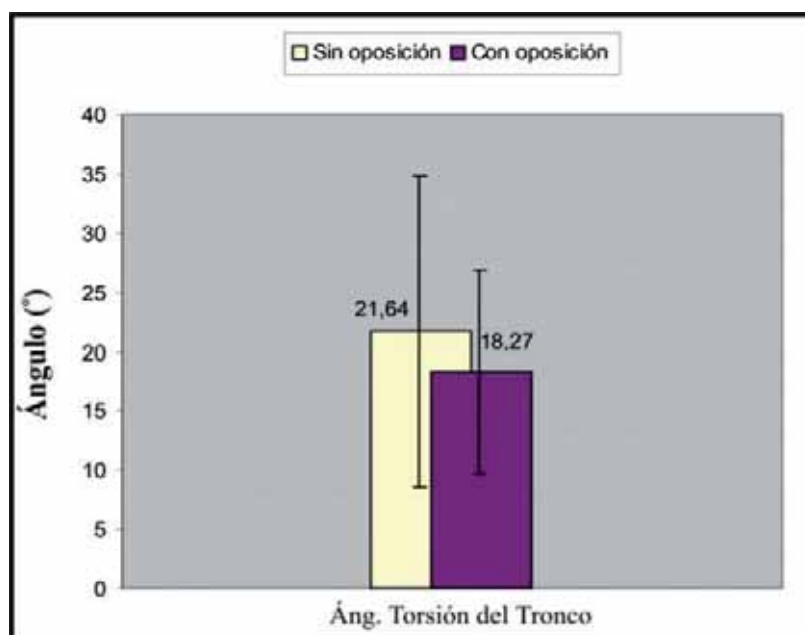


Figura 4.8.- Representación gráfica del promedio en las situaciones de sin oposición y con oposición de la variable ángulo: ángulo de torsión del tronco (, torsión tronco).

Tabla 4.10.- Estadística inferencial (ANOVA de medidas repetidas), para el factor sujetos y para el factor experimental (oposición), de la variable ángulo tronco-vertical en el plano frontal (α tronco-vertical_{frontal}).

Analysis of Variance for BALONMAN. θ tronco-vertical _{frontal} - Type III Sums of Squares						
Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level	
MAIN EFFECTS						
A: BALONMAN.sujetos	1170.0909	10	117.00909	4.051	.0188	
B: BALONMAN.factor	.1818	1	.18182	.006	.9392	
RESIDUAL	288.81818	10	28.881818			
TOTAL (CORRECTED)	1459.0909	21				

4.2.2.- Resultados de los factores de proceso

Si las *variables de producto* determinan la consecuencia final de lo que ha ocurrido durante el gesto, las variables consideradas como las causas más significativas que determinan la eficacia del gesto durante su ejecución son las *variables de proceso*. Este apartado se ha subdividido en dos subapartados, por un lado, el referido a los resultados del análisis temporal, y por el otro, a los resultados obtenidos en las variables relativas a las posiciones y velocidades desarrolladas.

4.2.2.1.- ANÁLISIS TEMPORAL

El análisis temporal corresponde al tiempo empleado entre cada uno de los eventos que determinan las fases y los momentos clave en cada uno de ellos. Dentro del análisis temporal distinguimos las siguientes variables: a) tiempo de impulso de frenado (***T1-T2***), es el tiempo desde que el talón del pie de batida toma contacto con el suelo, hasta que la rodilla de la misma pierna alcanza el menor ángulo; b) tiempo de impulso de aceleración (***T2-T3***), comprende desde la máxima flexión de la rodilla de la pierna de batida hasta que la punta del pie pierde contacto con el suelo (despega del suelo); c) tiempo de la fase preparatoria (***T4-T5***), es el período de tiempo desde que comienza la torsión del tronco hasta que se aprecia el comienzo de la distorsión del tronco en la realización final del lanzamiento, d) tiempo de la fase de lanzamiento (***T5-T6***), desde que se aprecia el comienzo de la distorsión del tronco hasta el momento de pérdida de contacto de la mano ejecutora con el balón, e) tiempo entre la máxima altura del CG y la suelta (***TMáxHCG*** suelta) y f) el tiempo entre la máxima altura del balón y la suelta (***TMáxHB*** suelta).

Tabla 4.11.- Estadística descriptiva e inferencial (factor oposición) de las variables relativas al análisis temporal: tiempo de impulso de frenado (**T1-T2**), tiempo de impulso de aceleración (**T2-T3**), tiempo de fase preparatoria (**T4-T5**), tiempo de fase de lanzamiento (**T5-T6**), tiempo entre la máxima altura del CG y la suelta (**TMáxHCG** suelta) y el tiempo entre la máxima altura del balón y la suelta (**TMáxHB** suelta).

	SIN OPOSICIÓN			CON OPOSICIÓN		
	N	II		II	F	p
Tiempo de impulso de frenado (T1-T2)	M	0.1209	M	0.1336	1.710	.2202
	SD	0.0221	SD	0.0347		
	CV	18.29	CV	25.98		
Tiempo de impulso de aceleración (T2-T3)	M	0.1364	M	0.1291	.501	.5027
	SD	0.0234	SD	0.0266		
	CV	17.12	CV	20.62		
Tiempo de fase preparatoria (T4-T5)	M	0.3145	M	0.3136	.001	.9726
	SD	0.105	SD	0.125		
	CV	33.38	CV	39.85		
Tiempo de fase de lanzamiento (T5-T6)	M	0.2027	M	0.2109	.351	.5727
	SD	0.0233	SD	0.033		
	CV	11.48	CV	15.64		
Tiempo entre la máxima altura del CG y la suelta (TMáxHCG suelta)	M	-0.082	M	-0.080	.009	.8500
	SD	0.0707	SD	0.1017		
	CV	-86.39	CV	-135.61		
Tiempo entre la máxima altura del balón y la suelta (TMáxHB suelta)	M	-0.013	M	-0.012	.132	.7281
	SD	0.009	SD	0.006		
	CV	-71.07	CV	-52.70		

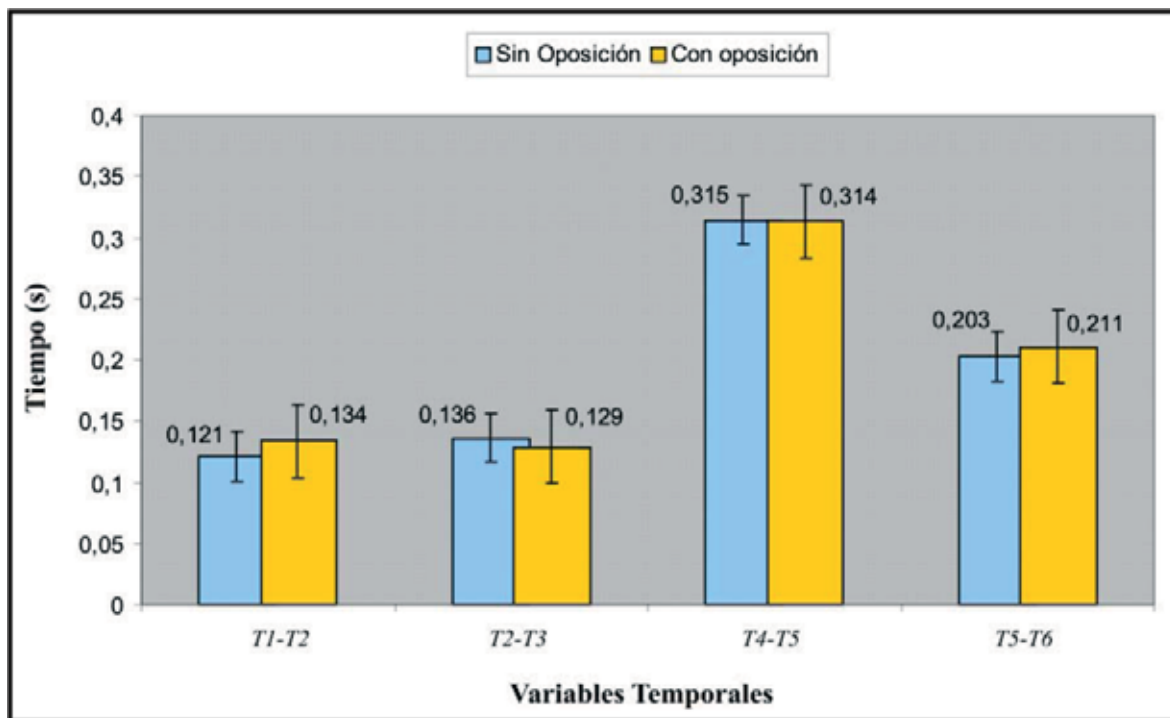


Figura 4.9.- Representación gráfica del promedio en las situaciones de sin oposición y con oposición de las variables temporales: tiempo de impulso de frenado (T1-T2), tiempo de impulso de aceleración (T2-T3), tiempo de fase preparatoria (T4-T5), tiempo de fase de lanzamiento (T5-T6).

En la tabla 4.11. y en la figura 4.9., se exponen y muestran los resultados estadísticos de las variables relativas al análisis temporal. En la figura 3.18. del capítulo correspondiente al método se representan las variables fases temporales correspondientes al análisis temporal. En la citada tabla se observa que la variable tiempo de impulso de frenado (**T1-T2**) aumenta con la oposición ($M= 0.1209$ s y $SD= 0.0221$ s, sin oposición y, $M= 0.1336$ s y $SD= 0.0347$ s, con oposición) y que la variable tiempo de impulso de aceleración (**T2-T3**) disminuye con la oposición ($M= 0.1364$ s y $SD= 0.0234$ s, sin oposición y, $M= 0.1291$ s y $SD= 0.0266$ s, con oposición). La suma de estas dos fases (**T1-T2** y **T2-T3**), en las situaciones de sin y con oposición, determina el tiempo de batida, es decir, el intervalo de tiempo desde que el talón del pie de batida toma contacto con el suelo hasta que la punta del mismo pie pierde contacto con el suelo (despegue). Dicha suma es ligeramente mayor en el caso de la situación con oposición (0.2573 sin oposición y 0.2627 con oposición). La estadística inferencial para estas dos variables no nos permite establecer diferencias estadísticamente significativas entre las situaciones experimentales propuestas.

En cuanto a la variable tiempo de la fase preparatoria (**T4-T5**), se observa en la tabla 4.11., que muestra resultados relativamente muy similares en las situaciones de sin y con oposición ($M= 0.3145$ s y $SD= 0.105$ s, sin oposición y, $M= 0.3136$ s y $SD= 0.125$ s, con oposición). Las desviaciones típicas, en ambas situaciones, son bastante elevadas, lo que es indicador de la gran variabilidad que se da en esta fase. La estadística inferencial no nos permite establecer, en cuanto al factor experimental (oposición), diferencias estadísticamente significativas, pero sin embargo, el tipo de desviaciones típicas que presenta esta fase temporal (**T4-T5**) favorece la existencia de diferencias muy significativas ($p \gg 0.01$) con respecto al factor sujetos (tabla 4.12.), lo que nos permite afirmar que entre los sujetos analizados existen bastantes diferencias en cuanto al tiempo de la fase preparatoria.

Tabla 4.12. - Estadística inferencial (ANOVA de medidas repetidas), para el factor sujetos y para el factor experimental (oposición), de la variable tiempo de la fase preparatoria (T3).

Analysis of Variance for BALONMAN. T3 - Type III Sums of Squares					
Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A: BALONMAN.sujetos	.2307818	10	.0230782	6.456	.0034
B: BALONMAN.factor	.0000045	1	.0000045	.001	.9726
RESIDUAL	.0357455	10	.0035745		
TOTAL (CORRECTED)	.2665318	21			

La variable tiempo de la fase de lanzamiento ($T5-T6$), tal y como se muestra en la tabla 4.11., muestra resultados relativamente similares en las situaciones de sin y con oposición ($M= 0.2027$ s y $SD= 0.0233$ s, sin oposición y, $M= 0.2109$ s y $SD= 0.033$ s, con oposición). Las desviaciones típicas, en ambas situaciones, son bastante reducidas, lo que es indicador de una gran estabilidad. La estadística inferencial no nos permite establecer diferencias estadísticamente significativas entre las situaciones experimentales propuestas.

Las medias de las variables temporales correspondientes al tiempo entre la máxima altura del CG y la suelta ($TMáxHCG$ suelta) y el tiempo entre la máxima altura del balón y la suelta ($TMáxHB$ suelta) son relativamente similares (tabla 4.11. y figura 4.10.) en las situaciones de sin y con oposición ($M= -0.082$ s, $SD= 0.0707$ s y $M= -0.08$ s, $SD= 0.1017$ s, para la variable $TMáxHCG$ suelta y para la variable $TMáxHB$ suelta $M= -0.013$ s, $SD= 0.009$ s y $M= -0.012$ s, $SD= 0.006$ s, en las situaciones de sin y con oposición, respectivamente). El valor negativo en los resultados de estas dos variables indica que los jugadores sueltan el balón después de conseguir la máxima altura del CG, es decir que la suelta del balón se produce en trayectoria descendente. Las desviaciones típicas y los coeficientes de variación son relativamente bajos en el caso de la variable $TMáxHB$, lo que confirma una buena estabilidad de esta variable.

La estadística inferencial de estas dos variables muestra, tal y como se presenta en la tabla 4.11., que no existen diferencias significativas en ninguna de ellas, en lo referente al factor experimental (oposición), pero sí encontramos diferencias muy significativas ($p < 0.01$) en cuanto al factor sujetos, en la variable tiempo entre la máxima altura del CG y la suelta ($TMáxHCG$ suelta), como se observa en la tabla 4.13., lo que nos permite afirmar que, en cuanto a esta variable, entre los sujetos analizados existen bastantes diferencias.

4.2.2.2.- FACTORES RELATIVOS A LAS POSICIONES ESPACIALES Y A LAS VELOCIDADES

En la tabla 4.14. se presentan los resultados correspondientes a las variables de proceso relativas a las posiciones espaciales adoptadas (α , máxima torsión tronco) y a las velocidades desarrolladas por el CG del sistema lanzador más balón (velocidad tangencial del CG al final de la carrera - VCG final carrera-, velocidad tangencial del CG al final del impulso de frenado - VCG final impulso frenado-, velocidad tangencial del CG al final de la batida - VCG final batida- y velocidad tangencial del CG en la suelta del balón - VCG suelta-). En dicha tabla y en la figura 4.11., se observa cómo el ángulo de máxima torsión del tronco (α , máxima torsión tronco) es similar en las dos condiciones experimentales ($M= 51.55^\circ$, $SD= 19.79^\circ$; $M= 49.55^\circ$, $SD= 16.31^\circ$, para las situaciones de sin y con oposición,

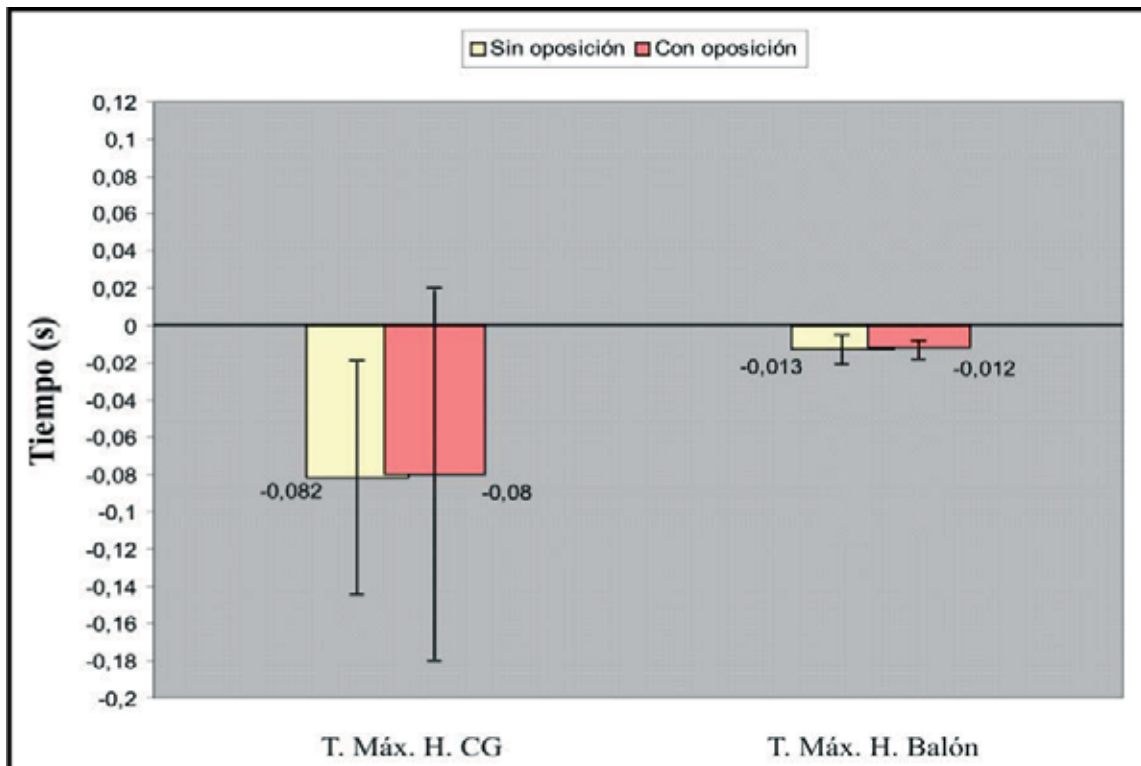


Figura 4.10.- Representación gráfica del promedio en las situaciones de sin oposición y con oposición de las siguientes variables temporales: tiempo entre la máxima altura del CG y la suelta (**TMáxHCG suelta**) y el tiempo entre la máxima altura del balón y la suelta (**TMáxHB suelta**).

Tabla 4.13.- Estadística inferencial (ANOVA de medidas repetidas), para el factor sujetos y para el factor experimental (oposición), de la variable tiempo entre la máxima altura del CG y la suelta (TMáxHCG).

Analysis of Variance for BALONMAN. <i>TMáxHCG</i> - Type III Sums of Squares					
Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A: BALONMAN.sujetos	.1321818	10	.0132182	6.240	.0039
B: BALONMAN.factor	.0000182	1	.0000182	.009	.9290
RESIDUAL	.0211818	10	.0021182		
TOTAL (CORRECTED)	.1533818	21			

Tabla 4.14.- Estadística descriptiva e inferencial (factor oposición) de las variables de proceso relacionadas con la posición espacial adoptada (ángulo de máxima torsión del tronco - θ máxima torsión tronco-) y con las velocidades desarrolladas por el centro de gravedad del sistema lanzador más balón (velocidad tangencial del CG al final de la carrera -VCG final carrera-, velocidad tangencial del CG al final del impulso de frenado -VCG final impulso frenado-, velocidad tangencial del CG al final de la batida -VCG final batida- y velocidad tangencial del CG en la suelta del balón -VCG suelta-).

	N	SIN OPOSICIÓN		CON OPOSICIÓN		F	p
		M	II	M	II		
Ángulo de máxima torsión del tronco (θ máxima torsión tronco)		M	51.55	M	49.55	.076	.7907
		SD	19.79	SD	16.31		
		CV	38.38	CV	32.92		
Velocidad tangencial del CG al final de la carrera (VCG final carrera)		M	4.37	M	3.93	5.333	.0436*
		SD	0.52	SD	0.77		
		CV	11.95	CV	19.65		
Velocidad tangencial del CG al final del impulso de frenado (VCG final impulso frenado)		M	3.69	M	3.37	4.092	.0706
		SD	0.26	SD	0.50		
		CV	7.01	CV	14.91		
Velocidad tangencial del CG al final de la batida (VCG final batida)		M	3.74	M	3.61	1.652	.2206
		SD	0.49	SD	0.32		
		CV	13.24	CV	8.78		
Velocidad tangencial del CG en la suelta del balón (VCG suelta)		M	3.2	M	3.05	.938	.3656
		SD	0.63	SD	0.63		
		CV	19.79	CV	20.69		

respectivamente). Se puede afirmar que, en las dos condiciones experimentales, el ángulo de máxima torsión del tronco con respecto a la cadera es próximo a 50° , aunque las desviaciones típicas son relativamente altas en las dos situaciones. La estadística inferencial, para esta variable, no nos permite establecer diferencias estadísticamente significativas entre las situaciones experimentales propuestas.

En cuanto a las variables relacionadas con la velocidad del CG del sistema lanzador más balón en distintos momentos del lanzamiento, se ha analizado exclusivamente la resultante de la velocidad. En la tabla 4.14. y la figura 4.12., se muestra la tendencia de las medias a disminuir en las cuatro variables, en mayor o menor medida con la oposición. Así los valores de la variable **VCG final carrera** pasan de $M= 4.37$ m/s y $SD= 0.52$ m/s, sin oposición a $M= 3.93$ m/s y $SD= 0.77$ m/s, con oposición; la variable **VCG final impulso frenado** oscila entre $M= 3.69$ m/s y $SD= 0.26$ m/s, sin oposición a $M= 3.37$ m/s y $SD= 0.50$ m/s, con oposición; los valores de la variable **VCG final batida** disminuyen de $M= 3.74$ m/s y $SD= 0.49$ m/s, sin oposición a $M= 3.61$ m/s y $SD= 0.32$ m/s, con oposición; y finalmente la variable **VCG suelta** presenta valores que oscilan entre $M= 3.20$ m/s y $SD= 0.63$ m/s, sin oposición a $M= 3.05$ m/s y $SD= 0.63$ m/s, con oposición. La variable que presenta el mayor valor de la resultante de la velocidad es la velocidad del CG al final de la carrera (**VCG final carrera**), siguiéndole en orden decreciente la **VCG final impulso frenado**, la **VCG final batida** y por último la variable **VCG suelta**.

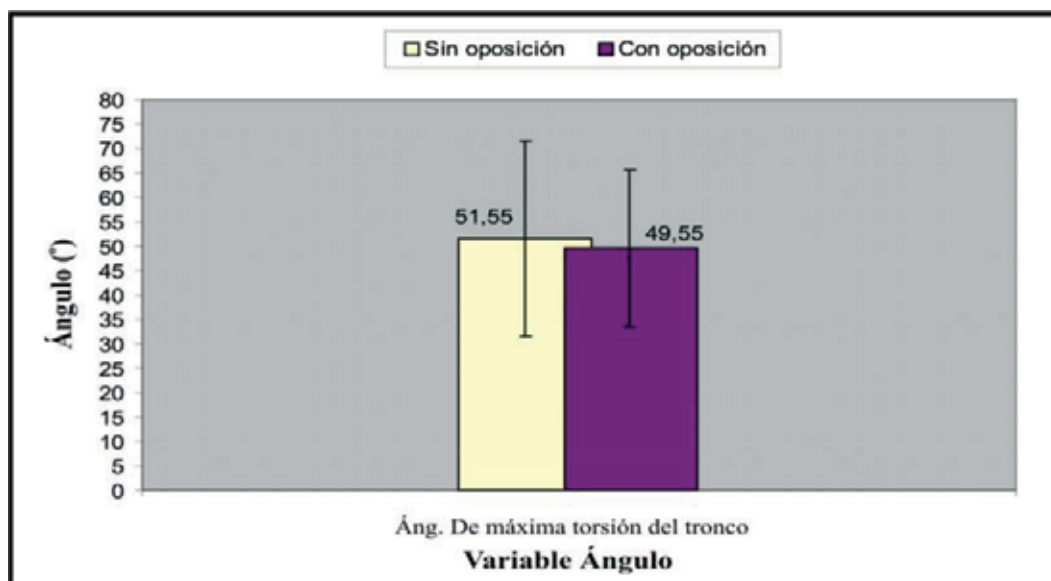


Figura 4.11.- Representación gráfica del promedio en las situaciones de sin oposición y con oposición de la variable ángulo de máxima torsión del tronco (, máxima torsión tronco).

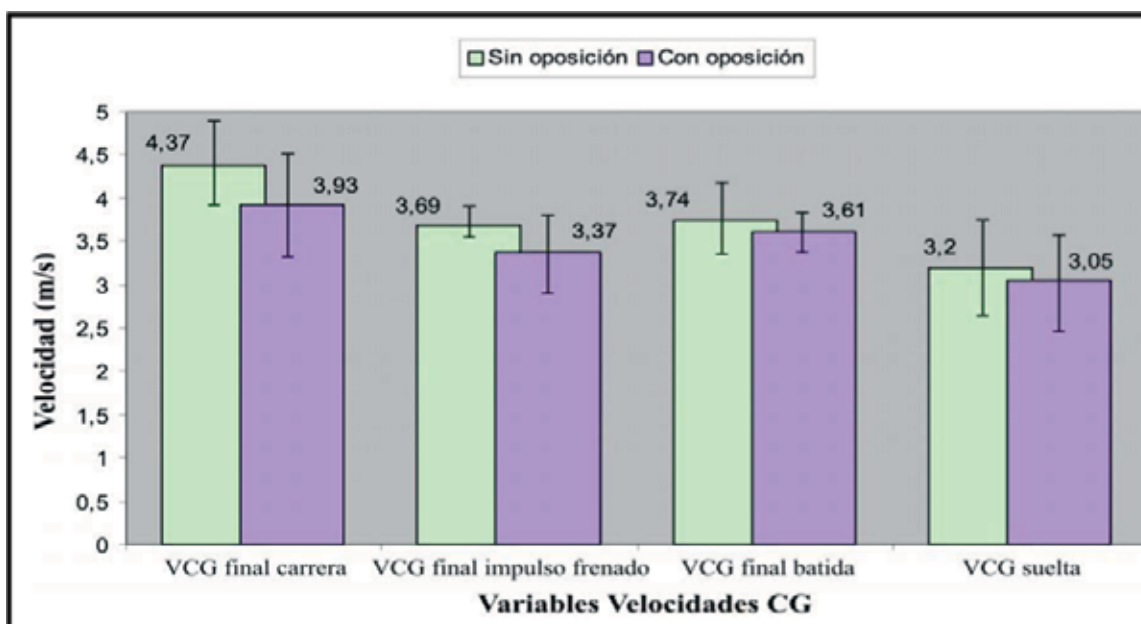


Figura 4.12.- Representación gráfica del promedio en las situaciones de sin oposición y con oposición de las variables relacionadas con las velocidades desarrolladas por el centro de gravedad del sistema lanzador más balón (velocidad tangencial del CG al final de la carrera -VCG final carrera-, velocidad tangencial del CG al final del impulso de frenado -VCG final impulso frenado-, velocidad tangencial del CG al final de la batida -VCG final batida- y velocidad tangencial del CG en la suelta del balón -VCG suelta-).

La estadística inferencial de estas variables anteriormente mencionadas muestra, tal y como se presenta en la tabla 4.14., que sólo existen ciertas diferencias estadísticamente significativas en la variable velocidad tangencial del CG al final de la carrera (**VCG final carrera**) ($F=5.333$; $pd \gg 0.05$), como se observa en la figura 4.13. Esto pone de manifiesto que con la oposición disminuye significativamente la velocidad del CG al final de la carrera. En cuanto al factor sujetos, tampoco en ninguna de ellas, se detectan diferencias significativas, salvo en la variable velocidad tangencial del CG en la suelta del balón (**VCG suelta**), que muestra, como se observa en la tabla 4.15., la existencia de diferencias muy significativas entre los sujetos ($F= 5.455$; $pd \gg 0.01$), lo que confirma que la ejecución técnica tiene un componente individual.

4.2.3.- Resultados de la evaluación de la cadena cinética desarrollada

Aunque en el apartado anterior correspondiente al método se ha incluido la evaluación de la cadena cinética dentro de las variables de proceso, hemos creído conveniente en el presente capítulo de resultados dedicarle un apartado. Para la valoración de la cadena cinética empleada por los jugadores, tanto en los lanzamientos efectuados sin oposición como en los realizados con oposición, se ha tenido en cuenta la evolución de la velocidad tangencial de los centros articulares correspondientes al lado ejecutor (cadera - V_t cadera-, hombro - V_t hombro-, codo - V_t codo- y muñeca - V_t muñeca-) y del balón (V_t balón), durante la fase de lanzamiento (**T5-T6**), es decir durante el período comprendido entre el inicio de la distorsión (**T5**) y el instante en que se produce la pérdida de contacto de la mano ejecutora con el balón (**T6**).

Así mismo, los datos sobre velocidades tangenciales que se presentan para la evaluación de la cadena cinética están expresados en porcentaje del tiempo total, utilizando para el proceso de conversión la interpolación a partir de las técnicas de splines de quinto grado. Mediante este procedimiento, los gráficos que representan las velocidades tangenciales se ajustan a un mismo número de datos, haciendo un efecto de "acordeón", lo que nos permite obtener, para cada porcentaje, unos valores de tendencia central (media y desviación típica) y, consecuentemente, unas gráficas de tendencia central medidas para cada situación experimental (sin y con oposición).

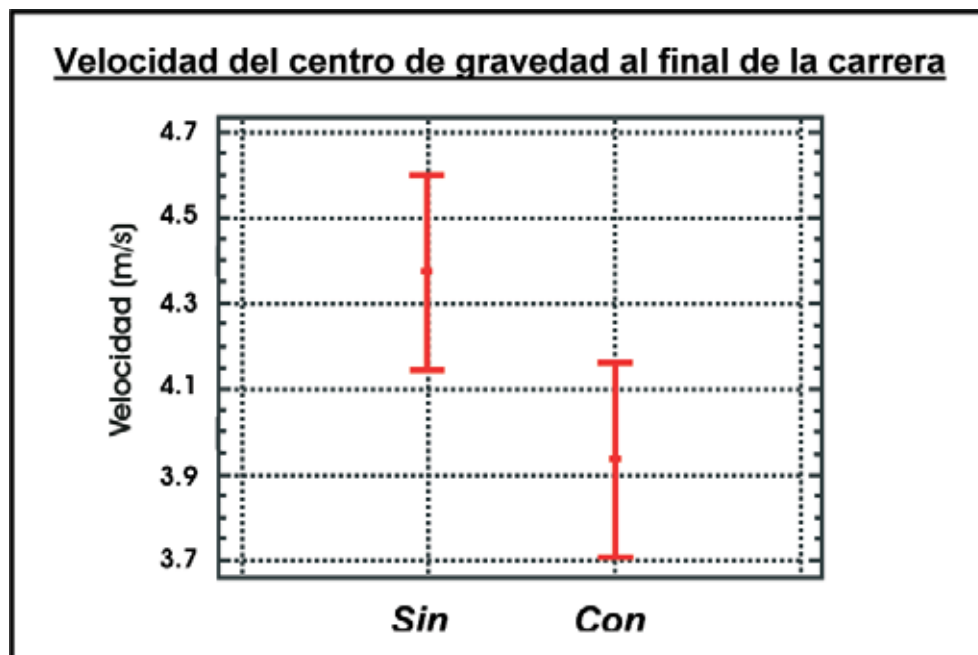


Figura 4.13.- Representación gráfica del resultado del análisis de varianza (ANOVA) de la variable oposición, sobre la variable velocidad tangencial del CG al final de la carrera (**VCG** final carrera).

Tabla 4.15.- Estadística inferencial (ANOVA de medidas repetidas), para el factor sujetos y para el factor experimental (oposición), de la variable velocidad tangencial del CG en la suelta del balón (*VCG suelta*).

Analysis of Variance for BALONMAN. <i>VCG suelta</i> - Type III Sums of Squares						
Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level	
MAIN EFFECTS						
A: BALONMAN.sujetos	6.7637364	10	.6763736	5.455	.0065	
B: BALONMAN.factor	.1163636	1	.1163636	.938	.3656	
RESIDUAL	1.2399364	10	.1239936			
TOTAL (CORRECTED)	8.1200364	21				

Mediante los ajustes indicados es posible obtener una estadística inferencial sobre cada valor en su porcentaje y, consecuentemente una estadística inferencial sobre las tendencias de velocidades en cada situación experimental. En este caso, para la exposición de los resultados sobre las cadenas cinéticas, hemos considerado más oportuno basarnos en el análisis gráfico, aunque partiendo de la estadística global en cada situación experimental.

Para llevar a cabo el análisis de la cadena cinética mencionada se realizará un análisis comparado de las velocidades tangenciales en cada situación experimental y, finalmente, se representará la secuencia temporal de todos los puntos en las dos situaciones de sin y con oposición para evaluar su secuencia temporal.

En la figura 4.14. se representa la gráfica de tendencia central sobre la evolución de la velocidad tangencial de la cadera del lado ejecutor (V_t cadera) en las dos situaciones experimentales, representando gráficamente la desviación típica para cada porcentaje de tiempo. Se observa en los dos casos que los datos son relativamente bajos, y las desviaciones típicas relativamente altas, lo que pone de manifiesto la escasa diferencia en el comportamiento de la velocidad tangencial de la cadera para las dos situaciones experimentales. De los resultados expuestos se comprueba que la velocidad tangencial de la cadera del lado ejecutor, durante toda la fase, posee velocidades medias muy inferiores a las que posee el CG en la suelta, lo que nos permite hacer dos consideraciones: a) no debe existir participación de la cadera durante el desarrollo de la cadena cinética en la fase de lanzamiento propiamente dicha, estando ésta orientada hacia la dirección del lanzamiento, antes del comienzo de esta fase, provocando una torsión inicial entre hombros y caderas, y b) la aceleración angular hacia delante del tronco, durante esta fase, provoca una reducción de la velocidad tangencial de la cadera como consecuencia de los ajustes compensatorios que deben producirse cuando no existen fuerzas externas que actúen contra el sistema, como ocurre en este caso.

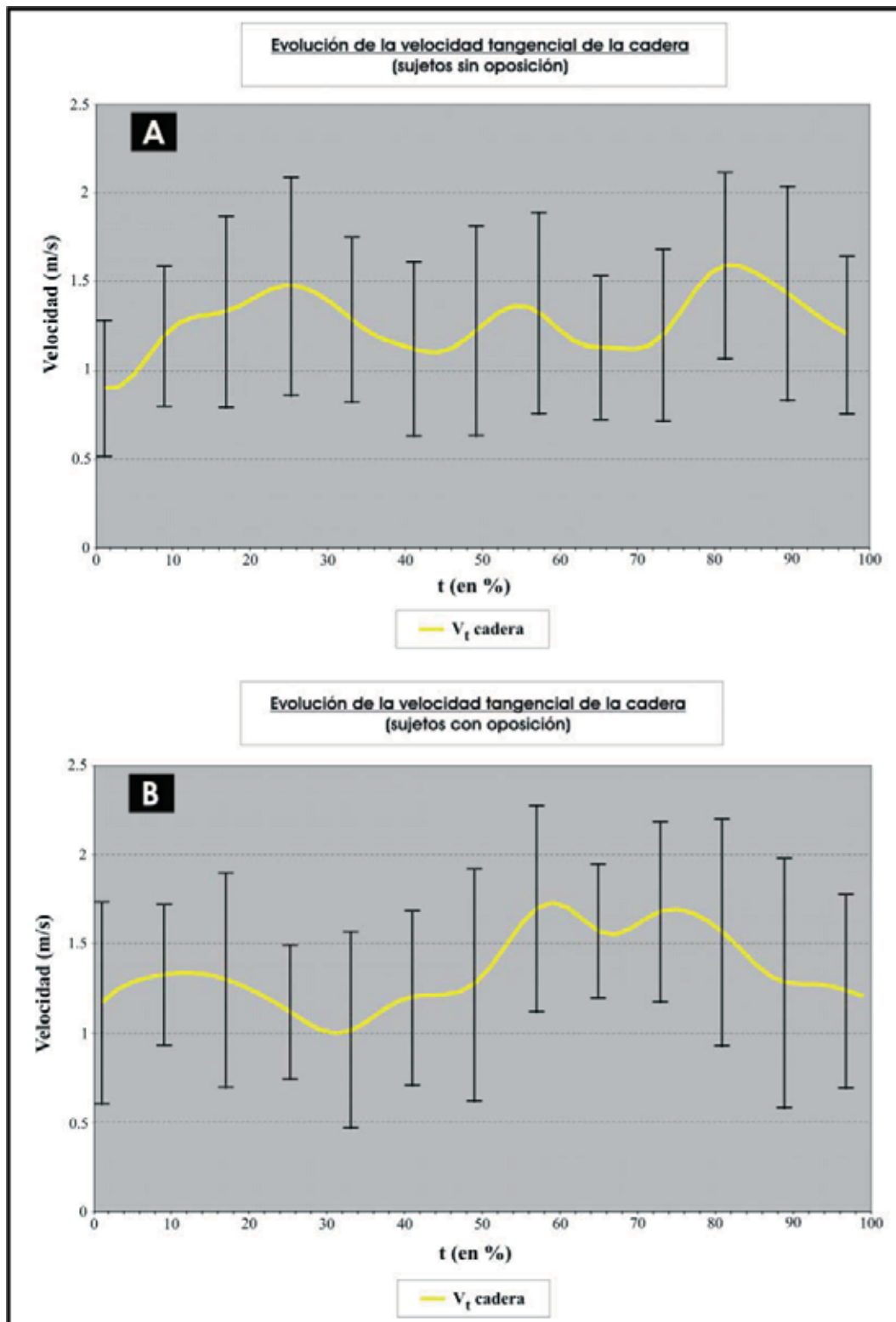


Figura 4.14.- Representación gráfica de la evolución de los valores de velocidad tangencial de la cadera (V_t cadera), sin oposición (A) y con oposición (B).

En la figura 4.15. se representa gráficamente la evolución de la velocidad tangencial del hombro del brazo ejecutor (V_t *hombro*), observándose una tendencia similar en las dos situaciones experimentales, incrementándose sus valores de forma progresiva hasta el 58% del tiempo total, en la situación experimental sin oposición y hasta el 74% cuando existe oposición, a partir de este tiempo, los valores tienden a reducirse. Las tendencias junto a las desviaciones típicas expuestas no muestran grandes diferencias entre las dos situaciones experimentales. En este caso, sí debemos poner de manifiesto la existencia de una rotación del eje de los hombros más una ligera flexión de tronco hacia delante que debe de ser la causa del incremento de la velocidad tangencial a partir del 30% del tiempo total.

En la figura 4.16. se representa la gráfica de la evolución de la velocidad tangencial del codo del brazo ejecutor (V_t *codo*) en las dos situaciones experimentales, se observa un comportamiento muy similar en ambas situaciones, incrementándose sus valores de forma progresiva hasta el 54% en la situación experimental sin oposición y hasta el 62% cuando existe oposición, a partir de este tiempo, los valores tienden a reducirse. En ambos casos, se obtiene un valor máximo de velocidad tangencial muy parecido, por encima de 8 m/s, aunque en diferentes momentos como se ha expuesto anteriormente. Las tendencias expuestas, junto a las desviaciones típicas, no muestran grandes diferencias entre las dos situaciones experimentales. Se comprueba como las tendencias expuestas, son similares en el tiempo a las que habíamos comentado sobre el hombro del brazo ejecutor, aunque en este caso sus valores son considerablemente más altos.

En la figura 4.17. se representa gráficamente la evolución de la velocidad tangencial de la muñeca del brazo ejecutor (V_t *muñeca*), se observan tres tendencias en ambas situaciones experimentales, primero las gráficas muestran una tendencia horizontal en torno a 4 m/s hasta llegar a 46% del tiempo total en la situación sin oposición y a 42% con oposición, a partir de estos porcentajes comienza la segunda tendencia, en la cual se produce un incremento progresivo hasta el 86% sin oposición y el 88% con oposición, a partir de este tiempo los valores tienden a reducirse ligeramente. En la situación sin oposición la velocidad tangencial de la muñeca alcanza un valor máximo por encima de 12 m/s, mientras que con oposición la máxima velocidad alcanzada queda algo por debajo de este valor. Las desviaciones típicas expuestas son bastante reducidas y no muestran grandes diferencias entre las dos situaciones experimentales. Podemos considerar que en los dos casos existen unas tendencias similares y muy estables.

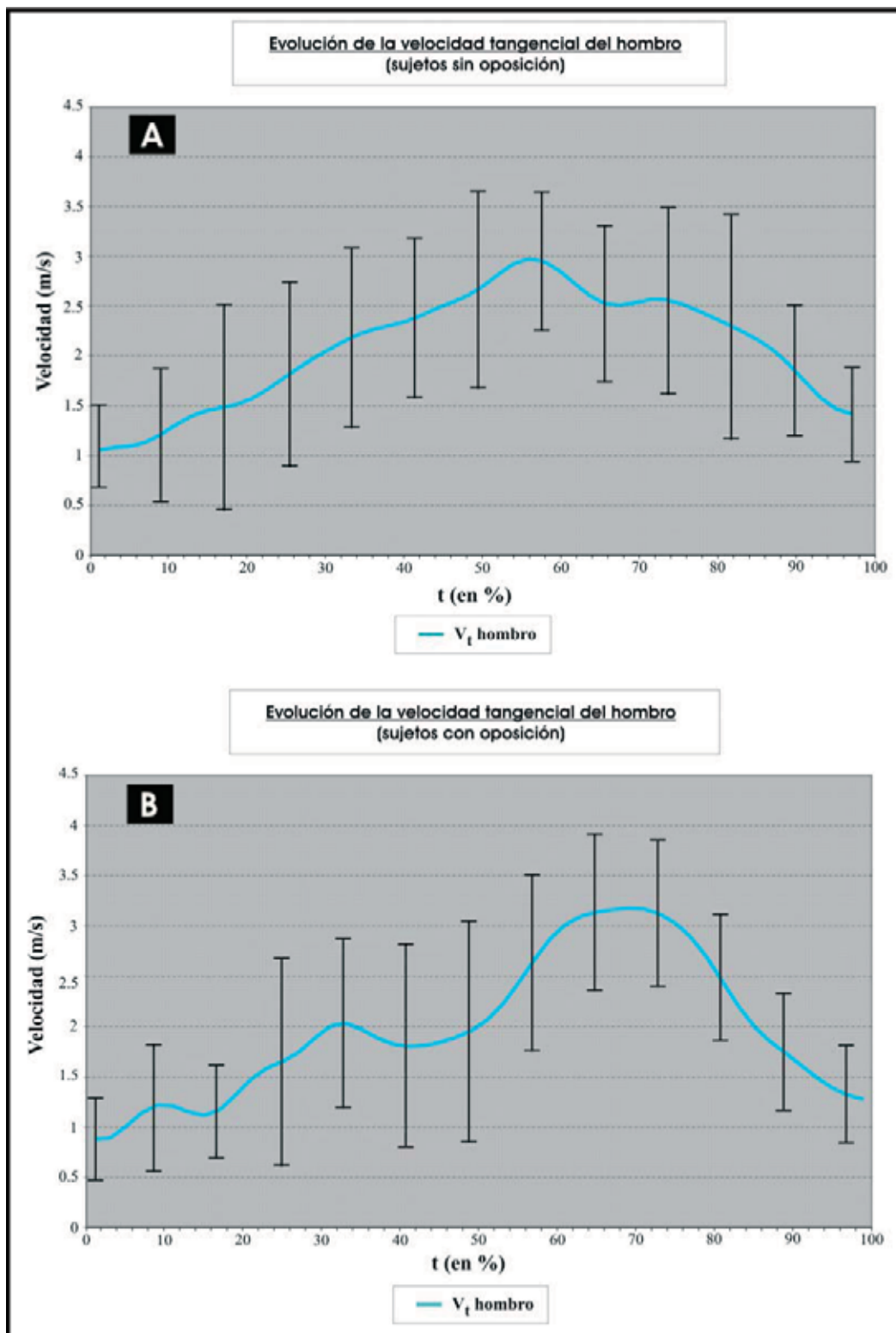


Figura 4.15.- Representación gráfica de la evolución de los valores de velocidad tangencial del hombro (V_t hombro), sin oposición (A) y con oposición (B).

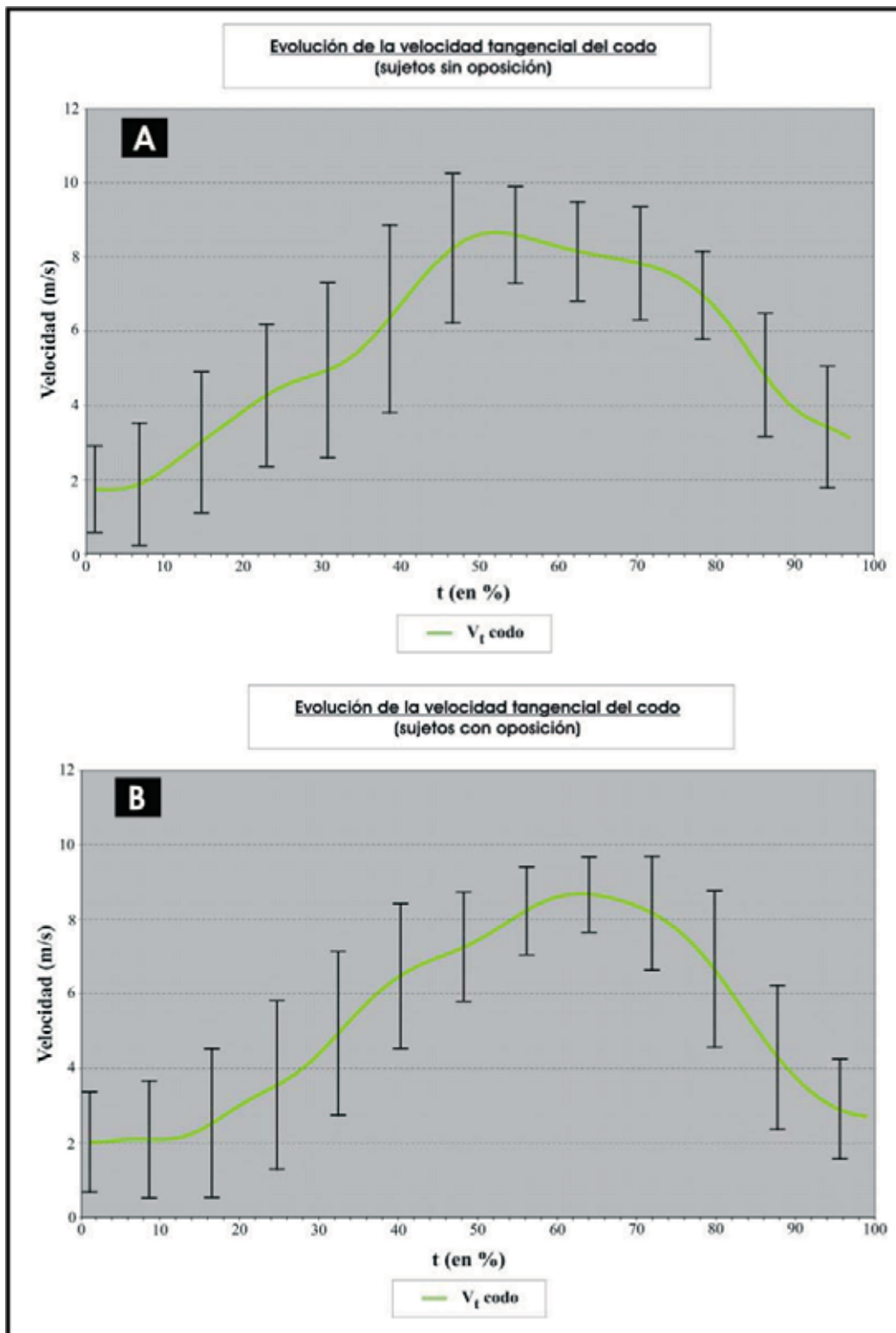


Figura 4.16.- Representación gráfica de la evolución de los valores de velocidad tangencial del codo (V_t codo), sin oposición (A) y con oposición (B).

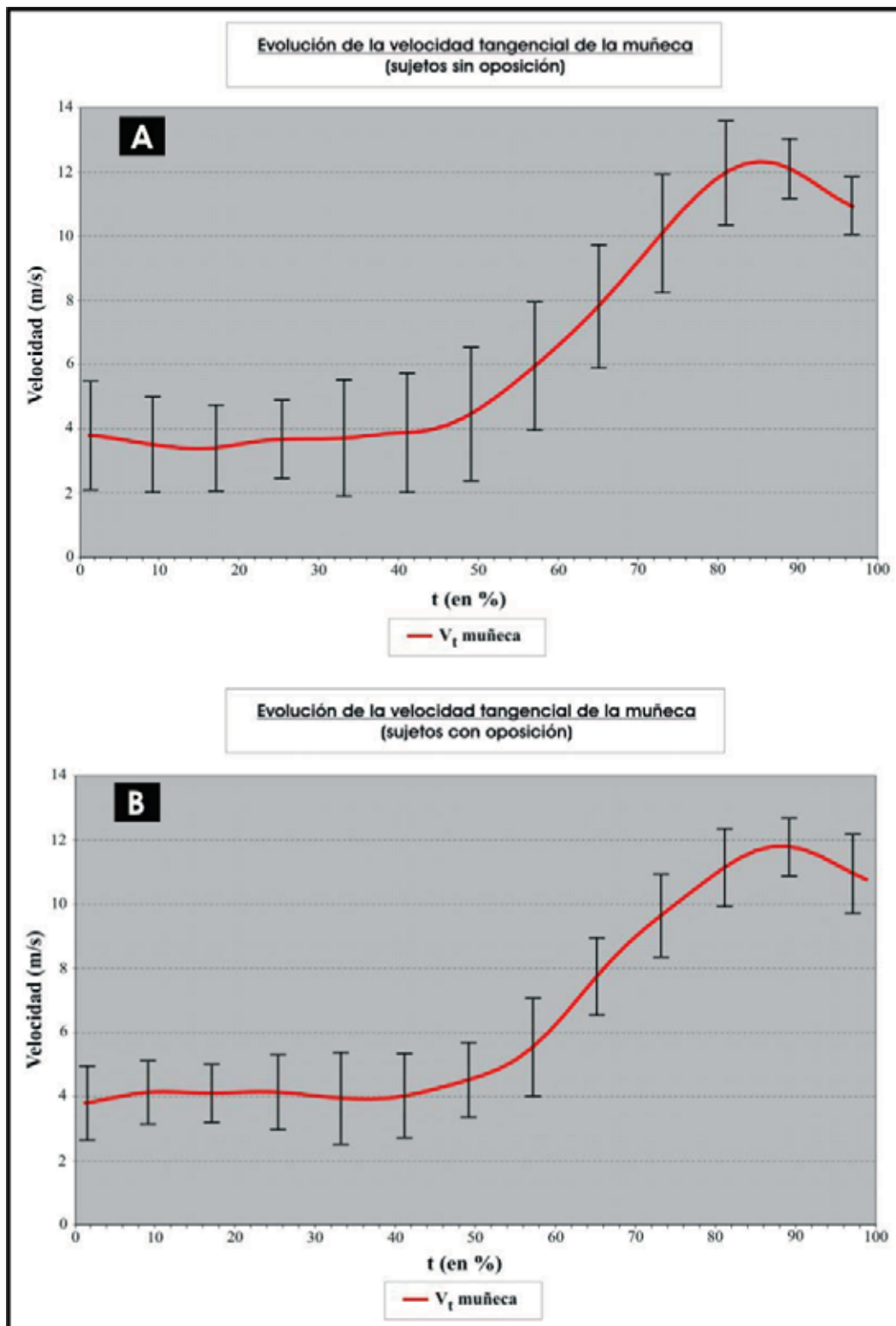


Figura 4.17.- Representación gráfica de la evolución de los valores de velocidad tangencial de la muñeca (V_t muñeca), sin oposición (A) y con oposición (B).

En la figura 4.18. se representa la gráfica de la evolución de la velocidad tangencial del balón (V_t balón) en las dos situaciones experimentales. En dicha figura se observan dos tendencias bastante similares en ambas situaciones, la primera es una tendencia de horizontalidad en torno a 5 m/s, hasta el 54% en la situación experimental sin oposición y hasta el 62% cuando existe oposición. A partir de este tiempo, observamos la segunda tendencia, en la cual los valores se incrementan progresivamente hasta alcanzar un valor final aproximado de 25 m/s, para la situación sin oposición y, algo inferior para la situación experimental con oposición. Las desviaciones típicas expuestas son bastante reducidas y no muestran grandes diferencias entre las dos situaciones experimentales. Al igual que ocurría con la articulación de la muñeca del brazo ejecutor, las tendencias son muy similares y muy estables.

Finalmente, para evaluar la secuencia temporal de la cadena cinética, en la figura 4.19. se presenta gráficamente el comportamiento de las velocidades tangenciales de los puntos correspondientes a la articulación de la cadera del lado ejecutor (V_t cadera), hombro del brazo ejecutor (V_t hombro), codo del brazo ejecutor (V_t codo), muñeca del brazo ejecutor (V_t muñeca) y balón (V_t balón), en las situaciones experimentales de sin y con oposición. En ella se observa una secuencia de tendencias típicas en una cadena cinética secuencial de velocidad, aunque también se aprecian algunas particularidades. La primera es que la participación de la cadera en dicha secuencia temporal es muy reducida, manteniendo un comportamiento con valores muy constantes. En este caso podemos decir que la cadera del lado ejecutor no participa de la secuencia temporal de la cadena cinética, más bien su participación se concreta en producir un estiramiento previo, al comienzo de la fase de lanzamiento, de la musculatura encargada de rotar posteriormente los hombros hacia la dirección de lanzamiento. Lo que se ratifica con los valores de torsión expuestos en la tabla 4.14. , ($-$, máxima torsión tronco- con los valores de $M= 51.55^\circ$, $SD= 19.79^\circ$; $M= 49.55^\circ$, $SD= 16.31^\circ$, para las situaciones de sin y con oposición, respectivamente), los cuales se producen instantes antes de iniciarse la distorsión y, consecuentemente, la fase de lanzamiento.

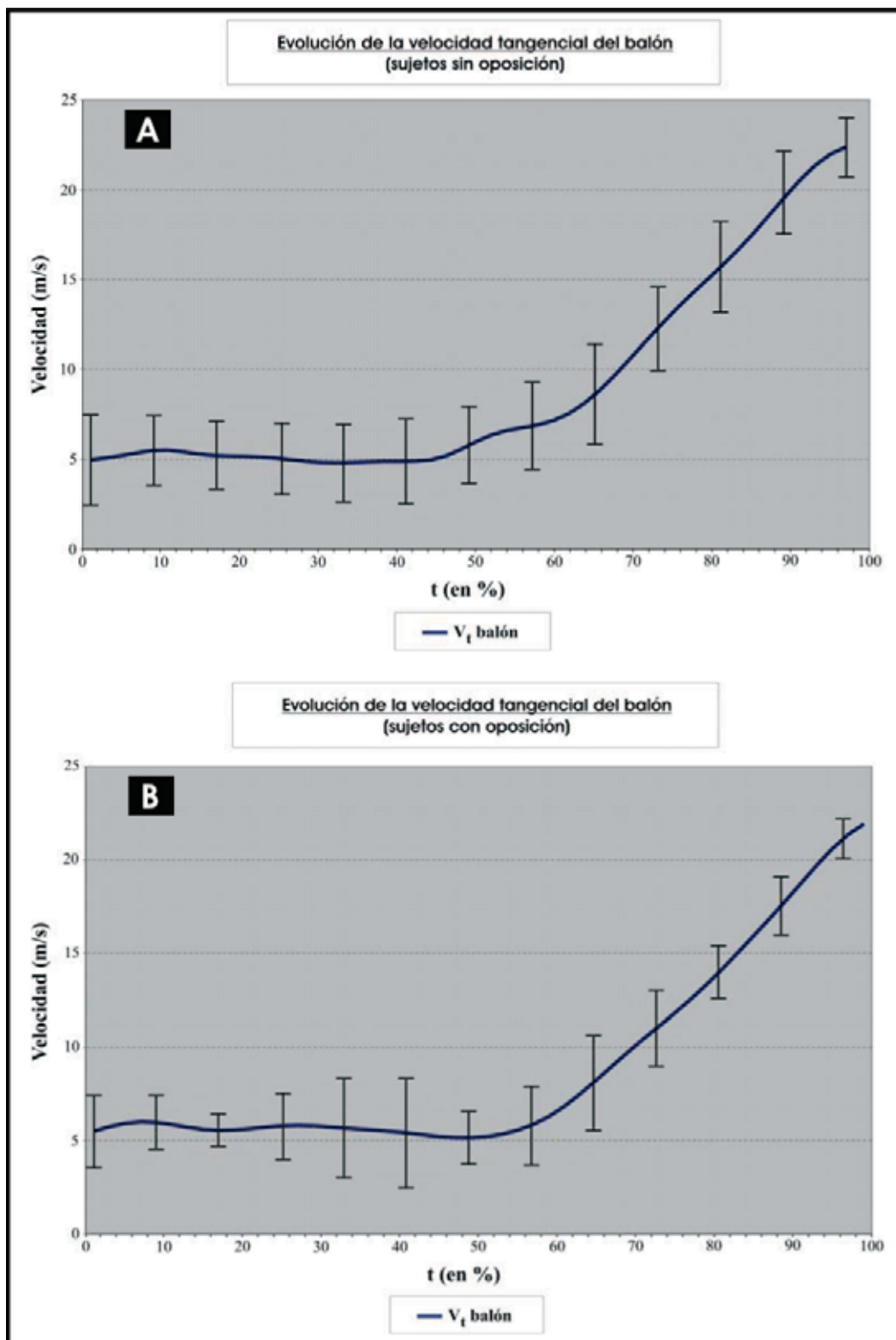


Figura 4.18. - Representación gráfica de la evolución de los valores de velocidad tangencial del balón (V_t balón), sin oposición (A) y con oposición (B).

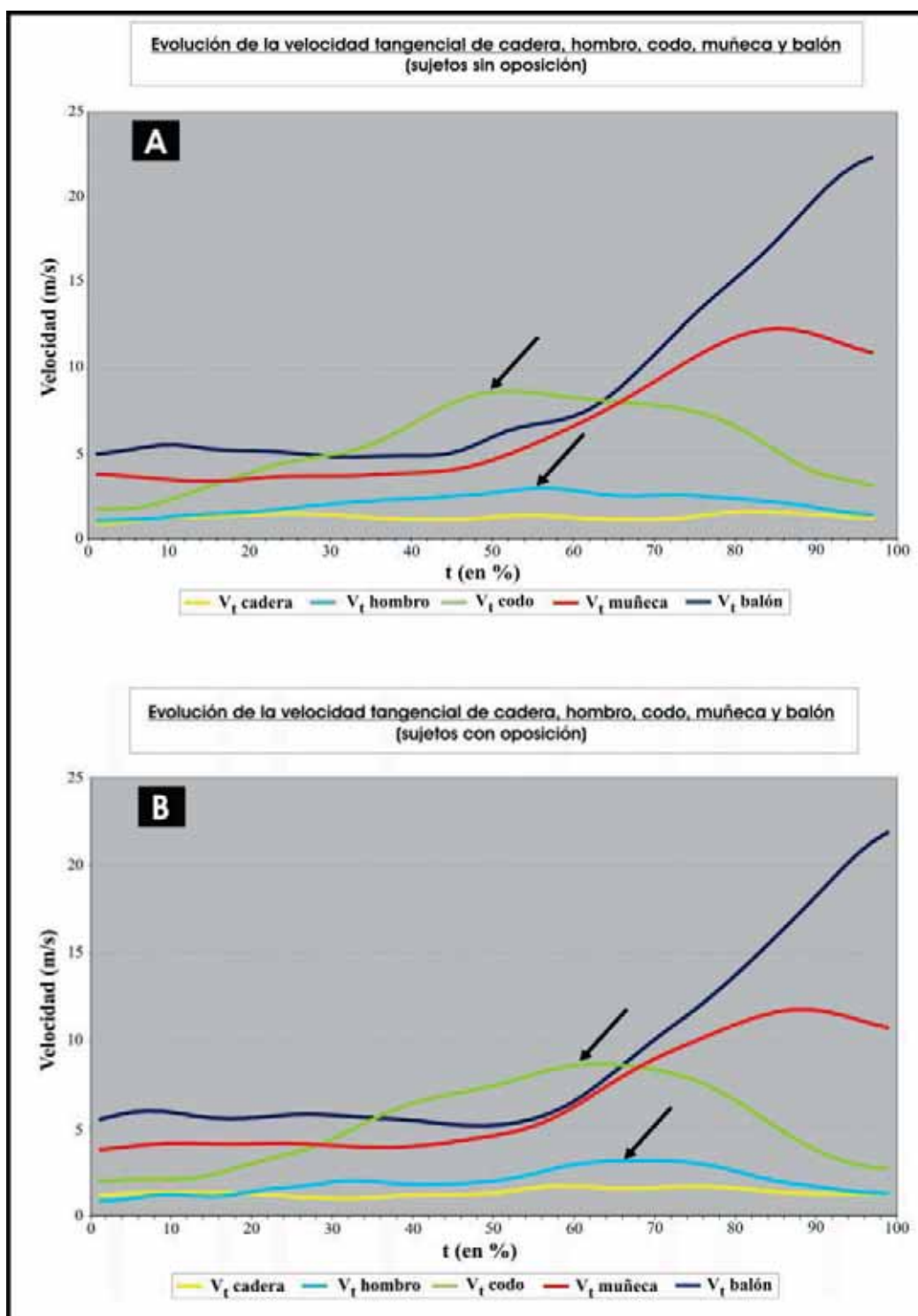


Figura 4.19.- Representación gráfica de la evolución de las velocidades tangenciales de cadera (V_t cadera), hombro (V_t hombro), codo (V_t codo), muñeca (V_t muñeca) y balón (V_t balón) según la situación en que se han efectuado, sin oposición (A) y con oposición (B).

La segunda particularidad tiene que ver con los picos máximos de velocidad tangencial alcanzados por el eje de hombros y por el centro articular del codo, se observa que en ambas situaciones experimentales el pico en la velocidad tangencial del codo aparece ligeramente antes que el pico de velocidad del eje de hombros. Este hecho pone en evidencia que no se ha producido una nítida sucesión de los picos de velocidad desde los segmentos proximales a los distales, como se hubiera esperado en toda cadena cinética secuencial. La explicación de este hecho debe estar en la forma de evaluación que hemos seguido, considerando sólo las velocidades tangenciales y no las velocidades angulares segmentarias, ya que en función de dichas tendencias y su comportamiento temporal, donde no existe secuencialidad, la participación del hombro en su torsión hacia el lado ejecutor provocaría una rotación externa del brazo y un retroceso del segmento brazo más que una reducción de la velocidad tangencial de la articulación del codo como sucede en otras cadenas cinéticas secuenciales.

Cuando el codo reduce su velocidad sobre el 66% del tiempo total, el centro articular de la muñeca comienza su aceleración hasta aproximadamente el 90% del tiempo total y, finalmente el balón mantiene su aceleración hasta la suelta.

CAPÍTULO V

Discusión

DISCUSIÓN

En el presente capítulo se pretenden interpretar los resultados obtenidos en nuestro estudio, además de describir las aparentes discrepancias o coincidencias al confrontarlos con los obtenidos por otros investigadores. De este modo conseguiremos exponer las fuentes de inconsistencias que han dado lugar a las discrepancias y sugerir nuevas investigaciones futuras.

El objeto de la confrontación de los resultados es, por un lado, integrar lo expuesto en los capítulos de revisión bibliográfica y resultados, y por otro, obtener unas conclusiones que den respuesta a los objetivos marcados en el primer capítulo de la presente tesis. Se ha constatado que algunas de las variables seleccionadas en nuestro estudio no tienen posibilidad de confrontación con otras investigaciones, de ahí que en estos casos la discusión se limite a la valoración de los resultados obtenidos.

La organización de la discusión tendrá una estructura formal similar a la de los capítulos relativos al método y a los resultados. El primer apartado se dedicará a la discusión de los resultados obtenidos mediante las técnicas de observación sistemática y, en el segundo, se discutirán los obtenidos a través de las técnicas fotogramétricas tridimensionales, agrupándolos en tres subapartados, los relativos a los factores de producto, de proceso y los referidos a la evolución de la cadena cinética del lanzamiento en salto.

5.1.- Discusión de los resultados obtenidos mediante las técnicas de observación sistemática

Los estudios referidos al lanzamiento en salto en balonmano, que podríamos utilizar de referente en la discusión relativa a la observación sistemática, se encuadran dentro del contexto pseudo-científico y, únicamente se ocupan de describir el gesto técnico o la técnica de ejecución en situación estable sin oposición, encontrando a veces descripciones particulares o personales. Así, señalamos a autores como

Bayer (1987), Bárcenas, 1981, Bárcenas y Román (1991), Czerwinski (1993), Falkowski y Enríquez (1982), Latiskevits (1991), Sánchez (1991), Stein y Federhoff (1975), Trosse (1993), y especialmente a Sánchez Molina (1990), el cual realiza un estudio descriptivo analizando fotogramas de lanzamientos, en el que describe la técnica del ataque en balonmano (recepciones, pases y lanzamientos). Utiliza la observación a partir de secuencias de fotogramas para describir el gesto del lanzamiento en salto.

En nuestro estudio, aunque no es comparable con los trabajos anteriormente mencionados, encontramos coincidencias como que la trayectoria de acercamiento a portería más eficaz es la carrera oblicua o diagonal, que el armado debe ser amplio, que se da una distorsión súbita o explosiva, etc..

La valoración que a continuación se expone, recoge los aspectos más significativos respecto a las diferencias o semejanzas entre los lanzamientos realizados sin y con oposición. Los resultados que vamos a valorar se han obtenido de las variables relacionadas con el ciclo de pasos, con la trayectoria seguida por los jugadores antes de la batida, la trayectoria seguida por el cuerpo durante la batida y las características del armado de brazo.

Con respecto al ciclo de pasos, los resultados obtenidos nos permiten afirmar que la oposición constituye una causa que hace modificar la secuencia de pasos en la preparación del lanzamiento. Se ha constatado que sin oposición todos los jugadores realizan tres pasos previos a la batida, mientras que con oposición, aproximadamente, la mitad (47%) realiza dos pasos y la otra mitad (53%) tres pasos, lo que indica que cuando la defensa de campo deja más espacio, los lanzadores suelen agotar el número de pasos. Esto puede explicarse, por la necesidad de adquirir la mayor velocidad horizontal posible al final de la carrera o inicio de la batida, lo que se confirma al observar que existen ciertas diferencias estadísticamente significativas en la velocidad del CG al final de la carrera ($p < 0.05$) a favor de la situación experimental sin oposición. El hecho de que la velocidad del CG al final de la carrera sea mayor cuando no existe oposición, como consecuencia de agotar, en todos los casos, los tres pasos reglamentarios, nos permitiría afirmar que, en dicha situación experimental, el jugador tendría más posibilidad de realizar un mayor impulso vertical y/o conseguir una mayor velocidad horizontal del sistema al final de la batida (Gutiérrez y Soto, 1991, sobre salto de altura y Gutiérrez et al., 1992, sobre el remate en voleibol).

Considerando la posibilidad de beneficiarse de la mayor velocidad del CG al inicio de la batida para obtener una mayor altura del CG durante la fase de vuelo, esto no puede confirmarse con los datos que se han obtenido en este estudio, al no encontrarse diferencias significativas entre las dos situaciones experimentales, con respecto a la variable máxima altura alcanzada por el CG durante el vuelo ($M = 1.70$ m, $SD = 0.10$ m y $M = 1.66$ m, $SD = 0.09$ m, en las situaciones de sin y con

oposición, respectivamente). En esta situación y considerando que tampoco se han encontrado diferencias significativas claras en la altura del CG al final de la batida, la velocidad vertical del CG al final de la batida sería similar en las dos condiciones experimentales, lo que nos conduce a confirmar que el incremento de la velocidad al final de la carrera, cuando no existe oposición, no se realiza para obtener una mayor altura de salto.

La otra consideración que nos conduce a pensar en un beneficio de la mayor velocidad del CG al final de la carrera como consecuencia de realizar, en todos los casos, tres pasos, cuando no existe oposición, es obtener una mayor velocidad horizontal del CG al final de la batida, aunque tampoco lo pueden confirmar los datos obtenidos. Los datos nos permiten constatar que existen más casos de trayectoria de vuelo con tendencia horizontal cuando no existe oposición ($M= 2.29$, $SD= 1.40$ y $M= 1.88$, $SD= 1.32$, para las situaciones de sin y con oposición, respectivamente), por el contrario, en las situaciones con oposición, la trayectoria dominante durante el vuelo es más vertical ($M= 3.53$, $SD= 0.61$ y $M= 3.88$, $SD= 0.76$, para las situaciones de sin y con oposición, respectivamente), aunque no existen diferencias estadísticamente significativas.

Según lo expuesto, aunque el hecho de agotar los tres pasos reglamentarios cuando no existe oposición, conduce a llegar al inicio de la batida a una mayor velocidad, no podemos confirmar que este hecho suponga una modificación en la trayectoria del CG durante el vuelo, siendo en las dos situaciones experimentales (sin y con oposición) similares, constatándose sólo que, en algunos casos, su trayectoria tiende a ser más en profundidad cuando no existe oposición. La única conclusión que podríamos extraer es que los jugadores agotan el ciclo de pasos (tres pasos), en todos los casos, cuando no existe oposición, posiblemente con el propósito de coordinar el gesto técnico que suele aprenderse y automatizarse con tres pasos y sin oposición (Bayer, 1987; Bárcenas y Román, 1991; Latiskevits, 1991; Sánchez, 1991; Stein y Federhoff, 1975). En consecuencia, consideramos que el aprendizaje de este tipo de lanzamientos debería hacerse en condiciones de variabilidad, tal y como se realiza en competición (variar el número de pasos, con cambios de dirección y fintas previos al lanzamiento, etc.).

Los resultados en cuanto a la trayectoria de desplazamiento del jugador en posesión del balón, muestran que la más empleada por los jugadores, tanto en las situaciones de sin como en las de con oposición, es la trayectoria diagonal. Se ha encontrado cierta significación estadística en las trayectorias frontal (TF), a favor de la situación experimental sin oposición, y combinada (TC), a favor de la situación experimental con oposición. Con respecto a la trayectoria frontal se pone de manifiesto que dicha opción es menos utilizada cuando existe oposición, mientras que la trayectoria combinada se utiliza con más frecuencia en la situación experimental con oposición, siendo prácticamente nula cuando ésta no existe.

La mayoría de autores (Bayer, 1987; Bárcenas y Román, 1991; Czerwinski, 1993; Latiskevits, 1991; Sánchez, 1991; Stein y Federhoff, 1975 y Trosse, 1993), coinciden con que la trayectoria más eficaz que debe seguir un jugador en el lanzamiento en balonmano, es la trayectoria diagonal, ésta permite al jugador llevar el balón protegido y preparar anticipadamente la torsión.

En cuanto a las variables cambios de dirección (CD), cambios de ritmo (CR), y fintas de desplazamiento (FD), ningún jugador realiza estas acciones en la situación sin oposición, por el contrario, en las situaciones con oposición sí se aprecian estas acciones aunque con valores medios de estimación relativamente bajos. Existe, por tanto, una mayor tendencia al empleo de cambios de ritmo, cambios de dirección y en variar (alargando y acortando) la longitud y amplitud de los pasos en los lanzamientos con oposición, respecto a los realizados sin oposición. En estos últimos se observa una tendencia de mayor estabilidad en esta acción. Aspecto que se corrobora al comprobar que la acción de batida, en los lanzamientos con oposición, se produce en localizaciones espaciales diferentes en cada lanzamiento, respecto a los lanzamientos sin oposición, que se ejecutan en el espacio definido para ello.

Los resultados obtenidos en la variable cambios de dirección (CD) muestran cierta significación con respecto al factor oposición. Estos resultados nos permiten afirmar que cuando no existe oposición la estructura secuencial de desplazamiento previo al lanzamiento se mantiene con una estructura similar a las habilidades discretas en una cadencia uniforme, por el contrario, las modificaciones a dicha estructura se producen cuando aparece la oposición de los jugadores de campo y especialmente con cambios de dirección. Consideramos que el objetivo que busca el jugador con los cambios de dirección es desequilibrar a la defensa para ganar espacio, buscar hueco para lanzar y realizar así en mejores condiciones la acción técnica de lanzamiento.

Respecto a la trayectoria del jugador durante el vuelo, en ambas situaciones experimentales (sin y con oposición) es predominantemente vertical, aunque hay tendencia a combinarla con la trayectoria horizontal. Se observa que se manifiesta en mayor medida en los lanzamientos sin oposición. Se podría pensar que con oposición la tendencia debería ser, en todos los casos vertical, pero esto no es así, la variabilidad de la ejecución del gesto con oposición hace que la trayectoria del vuelo esté condicionada por la forma de superar a los oponentes y no en todos los casos se hace aumentando la altura de salida del balón, en algunos casos, una batida con tendencia en profundidad puede ser la mejor opción.

Destaca el hecho de que en los lanzamientos con oposición se produce, en un gran número de casos, una trayectoria de vuelo lateral e incluso diagonal respecto a la perpendicular de la portería. En este punto, merece destacarse, que en muchos casos es más fruto de la automatización del gesto que de ajustes como

consecuencia de la oposición, según se observa en las condiciones de ejecución.

En los lanzamientos con oposición los lanzadores ajustan el lanzamiento de forma que no exista contacto con él o los defensores en el momento del lanzamiento. Dependiendo de este factor hay mayor o menor tendencia a las trayectorias horizontales.

Respecto a los resultados correspondientes a las variables relacionadas con el armado de brazo, se puede afirmar que existe automatización en la acción de armado de brazo. Cada jugador utiliza siempre la misma acción técnica, bien armado por delante o bien armado por detrás. El factor oposición no provoca modificaciones en el tipo de armado de brazo.

Destaca la realización de movimientos accesorios del brazo durante la acción de armado. Dichos movimientos se manifiestan en los dos tipos de armado y suponen acciones de ruptura del movimiento, de elevación y descenso del brazo, de ocultación del balón o acciones de retraso del lanzamiento propiamente dicho. En algunos casos se realizan movimientos contrarios a la propia acción natural del brazo. Comparando los lanzamientos realizados por un mismo jugador en las dos condiciones experimentales, comprobamos que, aunque no se han obtenido diferencias significativas, en los lanzamientos que se ejecutan con presencia de oposición, los movimientos accesorios del brazo durante el armado se incrementan, retardando la propia acción de armado hasta un momento antes de la propia acción de lanzamiento. Igualmente se induce que, en algunos casos, se rompe la secuencia de movilización de los segmentos proximales a distales, anteponiéndose un segmento posterior en la secuencia ideal al inmediatamente anterior.

Respecto a la técnica de realización global del lanzamiento, podemos decir que en las dos condiciones experimentales, el lanzamiento en general se ajusta al patrón general del lanzamiento en salto descrito en el primer capítulo de este trabajo (Sánchez Molina, 1990). Se cumplen los objetivos básicos de eficacia descritos por Párraga (1999) para este tipo de lanzamientos: a) que el balón salga con la mayor velocidad posible, b) que el balón pierda contacto con la mano en el punto más alto posible y c) que la localización del balón en la portería sea precisa. Las diferencias, a nivel general apreciadas en la observación sistemática, se producen en la acción técnica de los distintos lanzadores, y no tanto entre las diferentes ejecuciones de un mismo lanzador.

Una vez que el pie de batida pierde contacto con el suelo, en la fase de vuelo, no se aprecian grandes diferencias entre los lanzamientos realizados con oposición respecto a los realizados sin oposición. Parece ser que el gesto del lanzamiento está tan automatizado que no hay variación en la acción de lanzamiento propiamente dicha, y si existe variación, ésta se produce con anterioridad a la acción de lanzamiento.

5.2.- Discusión de los resultados obtenidos mediante las técnicas fotogramétricas tridimensionales

En este apartado se discutirán los resultados que se han obtenido a través de las técnicas fotogramétricas tridimensionales, agrupándolos en tres subapartados, los relativos a los factores de producto, de proceso y los referidos a la evolución de la cadena cinética del lanzamiento en salto, todo ellos sin perder de vista el análisis de conjunto.

5.2.1.- Factores de producto

Las variables de producto que se analizarán y confrontarán, en la medida de lo posible, con la revisión bibliográfica son las siguientes: **a)** ángulo de salida del balón ($\alpha_{salida\ balón}$), **b)** velocidad de salida del balón ($Vs_{salida\ balón}$), **c)** altura de salida del balón ($Hs_{salida\ balón}$) **d)** altura del centro de gravedad del sistema jugador más balón en el instante de la suelta ($HCG_{salida\ balón}$) y **e)** las relativas a las posiciones espaciales adoptadas en el momento de la suelta del balón (ángulo tronco-brazo en el plano sagital y frontal - $\alpha_{tronco\ brazo_{sagital\ y\ frontal}}$ -, ángulo tronco-vertical en los planos sagital, frontal y transversal - $\alpha_{tronco\ vertical_{sagital,\ frontal\ y\ transversal}}$ -, y el ángulo de torsión del tronco, respecto a la cadera y a los hombros - $\alpha_{torsión\ tronco}$ -).

La trayectoria del ángulo de salida del balón ($\alpha_{salida\ balón}$), en nuestro estudio, es negativa en todos los casos, lo que nos permite afirmar que su trayectoria es siempre hacia abajo, tanto en los lanzamientos sin oposición como en los realizados con oposición. En las dos situaciones, son similares los ángulos de salida del balón. Este ángulo está, a su vez, muy relacionado con la variable ángulo tronco-vertical en el plano sagital ($\alpha_{tronco\ vertical_{sagital}}$) y con la variable ángulo tronco-brazo en el plano sagital ($\alpha_{tronco\ brazo_{sagital}}$).

En la figura 5.1. se presentan estos tres ángulos citados considerando la siguiente relación entre ellos: a) si se incrementa el $\alpha_{tronco\ vertical}$ en el plano sagital, el valor negativo del $\alpha_{salida\ balón}$ también se incrementará manteniendo las mismas constantes de la cadena cinética; b) si se incrementa el $\alpha_{tronco\ brazo}$ en el plano sagital, se reduciría el valor negativo del $\alpha_{salida\ balón}$ manteniendo las mismas constantes de la cadena cinética. Según los datos expuestos en la tabla 4.9., del capítulo correspondiente a los resultados, en ninguno de los casos han existido diferencias estadísticamente significativas en las situaciones experimentales propuestas. Esta falta de significación en el $\alpha_{salida\ balón}$, en las dos situaciones experimentales propuestas, estaría condicionada por la consistencia en los otros dos ángulos mencionados y, consecuentemente, provocada por una alta

automatización en la cadena cinética del lanzamiento, no influyendo la oposición en la ejecución de la fase de lanzamiento.

El lanzador debe inicialmente tender a superar al defensor/es bien en profundidad, en altura o bien estableciendo estrategias complementarias o acciones laterales con respecto al oponente. Al tratarse de esta última opción, es lógico que al ser un factor de eficacia soltar el balón lo más alto posible, la trayectoria del balón sea siempre hacia abajo.

Como sabemos, el área de portería tiene unas dimensiones de tres metros de largo por dos de alto, como en el lanzamiento en salto siempre se suele producir la suelta del balón a una altura superior a los dos metros, de ahí que el lanzamiento a portería tras salto siempre sea en trayectoria descendente. Si tuviéramos que confrontar esta variable ángulo de salida del balón con otras investigaciones sería básico tener en cuenta la altura de salida del balón (*Hs salida balón*), variable ésta en la que tampoco se han obtenido diferencias estadísticamente significativas.

Los resultados obtenidos en nuestro estudio, en cuanto a la velocidad tangencial de salida del balón (*Vs salida balón*), indican que la media es ligeramente superior cuando los lanzamientos en salto se realizan sin oposición (24.36 m/s \pm 1.48 m/s con oposición y 25.03 m/s \pm 1.50 m/s sin oposición). Parece lógico pensar que esta diferencia, aún no siendo estadísticamente significativa, se deba a la mayor dificultad en desarrollar en toda su amplitud la cadena cinética cuando existe una oposición directa.

Según se ha podido constatar en la revisión bibliográfica, el análisis de la velocidad de salida del balón es complejo, debido a las diferentes manifestaciones de los lanzamientos (en apoyo sin carrera o con carrera, en salto, etc.), e incluso dentro del lanzamiento en salto (salto vertical o salto horizontal). También debido a las muestras de los jugadores/as analizados/as y de las técnicas de medida que se han utilizado en los diferentes trabajos.

Si nos limitamos a analizar los resultados obtenidos en cuanto a los lanzamientos realizados en salto, hay que señalar que los valores de velocidad de salida del balón, obtenidos en nuestro estudio, son algo superiores a los obtenidos en estudios similares. La posible explicación a estos datos la podemos encontrar en el diferente nivel de cualificación de los jugadores o en cuestiones metodológicas, como desgranaremos más adelante.

En este sentido, Pokrajac (1980), analiza la velocidad de salida del balón en distintos tipos de lanzamiento en balonmano, con jugadores de diferentes selecciones nacionales, obtiene resultados que reflejan velocidades medias de 18.8 m/s en jugadores del Equipo Nacional Polaco; de 18.05 m/s en jugadores del Equipo Nacional Austriaco y de 21.13 m/s con jugadores del Equipo Nacional Israelita, todos ellos en lanzamientos a portería en salto, oscilando la velocidad, como se ha comentado, entre 18.05 m/s y 21.00 m/s. Las diferencias encontradas en los

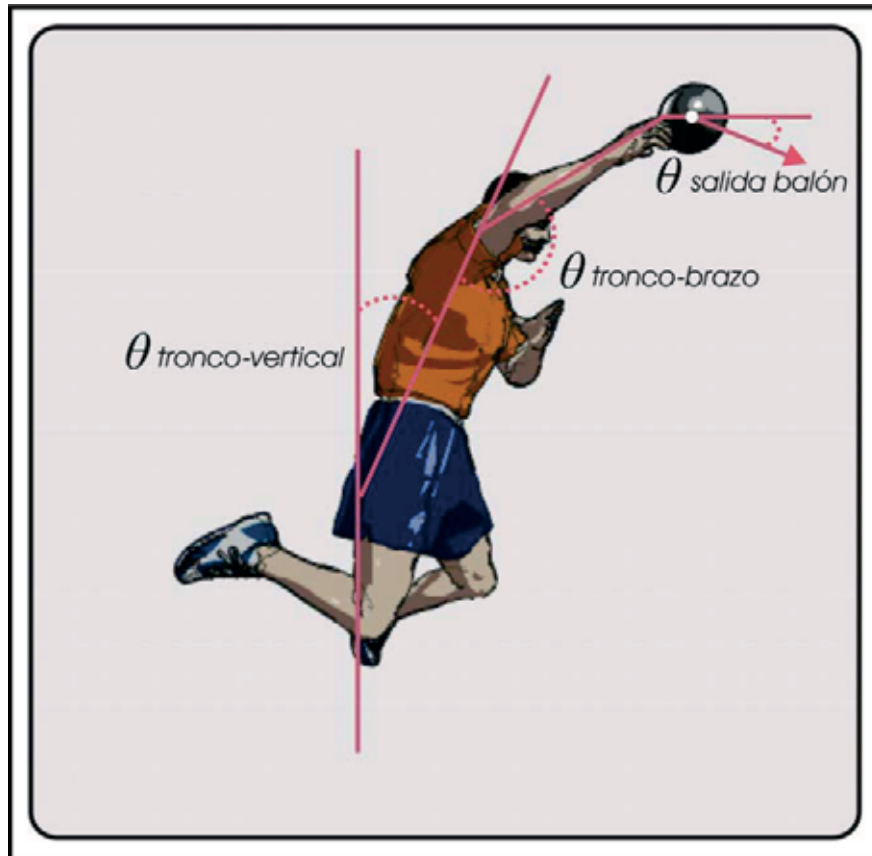


Figura 5.1. - Representación gráfica realizada, a partir de la estructura alámbrica del sujeto 3 del estudio, de las variables siguientes: ángulo de salida del balón ($\theta_{\text{salida balón}}$), ángulo tronco-vertical en el plano sagital ($\theta_{\text{tronco vertical}_{\text{sagital}}}$) y ángulo tronco-brazo en el plano sagital ($\theta_{\text{tronco brazo}_{\text{sagital}}}$).

datos obtenidos por este autor, en cada uno de los Equipos Nacionales, nos permite dudar de la consistencia de los métodos utilizados, ya que diferencias medias de 4 m/s en la velocidad de salida del balón en jugadores de élite nacional, es excesiva. Considerando la falta de una detallada descripción metodológica en su estudio, las diferencias encontradas entre nuestros datos y los suyos podrían estar motivadas por la variedad y falta de precisión en las técnicas de registro utilizadas.

Bretagne (1980) al analizar la velocidad de salida del balón, en lanzamientos en salto, obtiene valores que oscilan entre 18.61 m/s y 26.38 m/s. Zeier (1987), en estudios similares, obtiene velocidades que oscilan entre 20.50 y 22.22 m/s, sin establecer diferencias entre los distintos tipos de lanzamiento. Mikkelsen y Olesen (1976) y Müller (1980) analizan la velocidad de salida del balón en el lanzamiento, en jugadores de los Equipos Nacionales Austriaco y Danés, y obtiene valores de 22.00 m/s. Kotzamanidis (1987) con jugadores de distintos equipos nacionales diferencia entre el lanzamiento en salto vertical y horizontal, obtiene valores de 23.44 m/s en lanzamiento vertical y de 25 m/s en lanzamiento en salto horizontal. Fleck et al. (1992) analizan jugadores del Equipo Nacional de Estados Unidos y en los lanzamientos en salto obtienen valores medios de 26.3 m/s. Según los datos expuestos de forma cronológica, observamos que los datos referidos a la velocidad de salida del balón obtenidos por Kotzamanidis (1987) y Fleck et al. (1992), se ajustan más a los obtenidos en nuestro estudio. Se puede considerar que el incremento encontrado en nuestros datos, estaría más relacionado con la actualización de las técnicas de registro actuales (fiabilidad y sensibilidad) que con la ejecución real por parte de los jugadores.

Más recientemente, Párraga et al. (2001) en su estudio obtiene, para los lanzamientos realizados en salto sin oposición, valores algo inferiores a los nuestros, concretamente valores medios de $19.12 \text{ m/s} \pm 3.82 \text{ m/s}$, esto es debido al hecho de que, en su estudio, se despreciaba la componente transversal de la velocidad al ser un análisis bidimensional (2D). Bayios et al. (2001), utilizando la técnica del láser, mide la velocidad de salida del balón en tres grupos de sujetos de diferente de nivel, para el lanzamiento en salto obtiene los siguientes valores: $22.74 \text{ m/s} \pm 2.16 \text{ m/s}$ en jugadores de la 1ª división griega de balonmano, $20.54 \text{ m/s} \pm 1.63 \text{ m/s}$ en jugadores de la 2ª división y $15.54 \text{ m/s} \pm 1.42 \text{ m/s}$ en el grupo compuesto por estudiantes de educación física $19.12 \text{ m/s} \pm 3.82 \text{ m/s}$. Sibila et al. (2003) compara dos técnicas de lanzamiento en salto buscando profundidad, obteniendo los siguientes valores de velocidad de salida del balón en cada una de ellas: 24.14 m/s en el lanzamiento en salto clásico (el pie de batida no coincide con el brazo ejecutor) y 22.32 m/s el lanzamiento en salto a pie cambiado (el pie de batida coincide con el brazo ejecutor).

La variable velocidad tangencial de salida del balón (*V_s salida balón*) refleja la existencia de ciertas diferencias estadísticamente significativas con respecto al factor sujetos, lo que nos permite afirmar que existen diferencias en cuanto a la velocidad

de salida del balón entre los sujetos analizados, como se verificó en los estudios de Rojas (1997) y Párraga (1999), en baloncesto y balonmano, respectivamente. Basándonos en los estudios de Bayios et al. (2001), estas diferencias entre sujetos estarían motivadas por las diferencias de nivel entre los jugadores participantes en nuestro estudio, y que a su vez, están condicionadas por las diferencias individuales en la técnica de ejecución del gesto, entendiéndose que existe una técnica individual condicionada por las características particulares de los sujetos.

La estadística descriptiva relativa a las variables altura de salida del balón (*Hs salida balón*) y máxima altura del balón (*MáxH balón*), presenta valores similares en las dos condiciones experimentales (sin y con oposición), es decir que tanto en las situaciones de sin como en las de con oposición, los jugadores sueltan el balón relativamente desde la misma altura. Este hecho puede ser debido a que en el protocolo sin oposición se les planteó a los lanzadores una situación de salto vertical, tal y como, podía suceder en una situación real de juego con oponente. Aunque la altura de salida del balón media es similar en las dos situaciones experimentales, cuando analizamos la distancia entre el CG y la posición del balón en el instante de la suelta, obtenemos una media ligeramente superior cuando existe oposición, es decir, cuando hay una oposición de jugadores de campo, existe como una mayor extensión del tronco y/o verticalidad en el instante de la suelta. Los datos expuestos en la tabla 4.9., correspondiente al capítulo de resultados, nos confirman que este hecho se debe a una mayor verticalidad del jugador ya que, aunque no existen diferencias estadísticamente significativas, el ángulo tronco vertical en el plano sagital tiende a ser menor cuando existe oposición ($M= 16.90^\circ$ y $SD= 6.31^\circ$, sin oposición; y $M= 13.75^\circ$ y $SD= 11.9^\circ$, con oposición).

Siguiendo con el análisis de estas dos variables (*Hs salida balón* y *MáxH balón*), la diferencia entre sus valores medios es de 0.02 m y 0.08 s (en ambas situaciones experimentales de sin y con oposición), esto pone de manifiesto que los jugadores sueltan el balón en un tiempo muy próximo a la obtención de su máxima altura de salto, produciéndose, en todos los casos, la salida del balón instantes después de obtener esta máxima altura. Se podría haber pensado que ante la presencia de la oposición, el jugador anticipara o retardara el momento de la suelta del balón para salvar dicha oposición, sin embargo, los resultados nos muestran que, con independencia de la existencia o no de oposición, el jugador mantiene estable el lanzamiento, es decir, que la automatización del gesto de lanzamiento se refleja en ambas situaciones. Esta consistencia en la ejecución del lanzamiento, tanto sin como con oposición, nos permite pensar que el jugador, cuando inicia la batida, ya ha tomado la decisión de cómo desbordar al oponente directo de campo, y a partir de ese momento el portero constituiría su oponente más directo, y cuando inicia la fase de lanzamiento ya ha tomado la decisión de la dirección y sentido del lanzamiento a portería, siempre que no utilice un recurso en función del desplazamiento y/o posición del portero, aunque este caso no se ha contemplado en el estudio.

La variable *MáxH CG* muestra una cierta significación para el factor sujetos, lo que nos permite confirmar las diferencias existentes entre los sujetos analizados con respecto a esta variable.

En cuanto a los resultados obtenidos relativos a las posiciones espaciales adoptadas en el momento de la suelta del balón, se observa que la variable ángulo tronco-brazo en el plano sagital (\angle *tronco-brazo*_{sagital}) es similar en las situaciones sin y con oposición. La variable ángulo tronco-brazo en el plano frontal (\angle *tronco-brazo*_{frontal}) aumenta ligeramente cuando existe oposición, aunque la estadística inferencial no permite establecer diferencias significativas entre las dos situaciones experimentales. Si analizamos las variables ángulo tronco-brazo, tanto en el plano sagital como en el frontal, podemos deducir que cuanto más se aproximen sus valores a 180°, la altura de salida del balón tiende a ser mayor, ya que se incrementa la distancia entre el CG del sistema y el balón. No hemos encontrado estudios con los que se puedan contrastar estas variables.

Los valores obtenidos de la variable ángulo tronco-vertical en el plano sagital (\angle *tronco-vertical*_{sagital}) son, en todos los casos positivos, lo que nos indica que la suelta del balón se produce con una ligera inclinación del tronco hacia delante. Esta inclinación del tronco hacia delante, al final de la fase de lanzamiento, es característica en la mayoría de especialidades deportivas de lanzamiento de mano alta, como el bádminton (Carazo, 2004), la jabalina (Best et al., 1993; Mero y Komi, 1994; Navarro, 1994), waterpolo (Feltner y Nelson, 1996), el béisbol (Escamilla et al., 1998, 2001, 2002; Fleisig et al., 1996a, 1996b, 1999; Sakurai et al., 1993; Sherwood et al., 1997; Stodden et al., 2001), fútbol americano (Rash, 1994; Rash y Shapiro, 1995), y como se ha constatado en nuestro estudio, en el balonmano (Chagneau et al., 1992; Fradet, 2003; Párraga, 1999; Tillaar y Ettemaa, 2000; entre otros). Dicho ángulo disminuye con el factor oposición ($M= 16.91^\circ$, $SD= 6.32^\circ$, sin oposición y $M= 13.75^\circ$, $SD= 11.94^\circ$, con oposición). Como se ha dicho, esta menor inclinación del tronco al final del lanzamiento cuando existe oposición podría conducir a una mayor distancia vertical entre el CG del jugador y el balón en el instante de lanzamiento. Así mismo esto se puede explicar por el hecho de la presencia de un oponente (defensa de campo), el cual limita la amplitud de movimientos del lanzador.

Así, por ejemplo, Chagneau et al. (1992) obtiene unos valores de inclinación del tronco hacia delante similares a los nuestros, concretamente oscilan de 21° a 41°, esto es debido a que, en su estudio no se realizan lanzamientos en salto, sino lanzamientos en apoyo. Y en los lanzamientos en apoyo la posibilidad de inclinar el tronco hacia delante es mayor debido a la existencia de un apoyo mantenido sobre el suelo, lo que hace posible pivotar sobre dicho apoyo hacia delante a la vez que se desarrolla la cadena cinética.

La media de los ángulos en los planos frontal y transversal (\angle *tronco-vertical*_{frontal} y \angle *tronco-vertical*_{transversal}) es similar en las dos situaciones experimentales. Si

analizamos la variable ángulo tronco-vertical en el plano frontal ($\angle_{\text{tronco-vertical}_{\text{frontal}}}$), el valor negativo de estos datos nos indica que, en todos los casos, se produce una inclinación del tronco hacia el lado no dominante, es decir, que se lanza en rectificado, en las dos situaciones experimentales, por lo que el factor oposición no parece tener efecto sobre dicha variable ya que a pesar de que no existe oposición, los jugadores también lanzan en rectificado.

Esta inclinación lateral del tronco que se produce en los lanzamientos en balonmano es común para todas las disciplinas deportivas de mano alta, como describe Navarro (1994), por ejemplo, para el lanzamiento en jabalina y Feltner (1989) y Fleisig et al., (1999) para el lanzamiento en béisbol. Posiblemente, dicha inclinación sea necesaria para aumentar la altura de salida del balón, pero este hecho no se ha constatado con los datos obtenidos y tampoco es congruente con la inclinación producida en el lanzamiento de jabalina donde la altura de salida no es considerada como un factor de eficacia relevante. Es posible que esta inclinación esté condicionada a la estructura articular del hombro, facilitando la rotación interna de dicha articulación, más el desplazamiento y extensión del codo en la dirección de lanzamiento. En la figura 5.2. se observa una secuencia de movimientos, en visión anterior y posterior, donde se aprecia dicha inclinación del tronco junto al desplazamiento y extensión del codo.

Quizá los jugadores tienen el gesto de lanzamiento en rectificado tan automatizado que incluso en situación de sin oposición lo realizan. Hasta el momento de la pérdida de contacto del pie de batida con el suelo los jugadores manifiestan, como se ha constatado en los resultados de la observación sistemática, ciertos movimientos (cambios de dirección) para desestabilizar a la oposición de campo, pero en fase aérea, exista o no oposición, el jugador desencadena el mismo gesto automatizado. Esto puede deberse a que si el jugador modificara su patrón de lanzamiento en fase aérea, podría verse afectada la eficacia del lanzamiento, especialmente la velocidad de salida del balón.

En lo referente al factor oposición, no se han encontrado diferencias significativas en ninguna de las variables ($\angle_{\text{tronco-vertical}}$), pero sí se ha detectado una cierta significación ($p < 0.05$) en la variable ángulo tronco-vertical en el plano frontal ($\angle_{\text{tronco-vertical}_{\text{frontal}}}$), en cuanto al factor sujetos. Esto indica que la oposición no condiciona el nivel de rectificado del lanzamiento, sin embargo, cada sujeto lo realiza de un modo diferente, lo que confirma que la ejecución técnica tiene un componente individual. La ejecución de los lanzamientos depende de las características individuales y de la experiencia previa de cada jugador. En esta línea se encuentran los trabajos de Rouard y Carré (1987) y Gutiérrez, (1988), los cuales indican que ciertas características antropométricas, musculares, de aprendizaje, etc., personalizan el gesto técnico, dando como consecuencia una técnica individualizada.

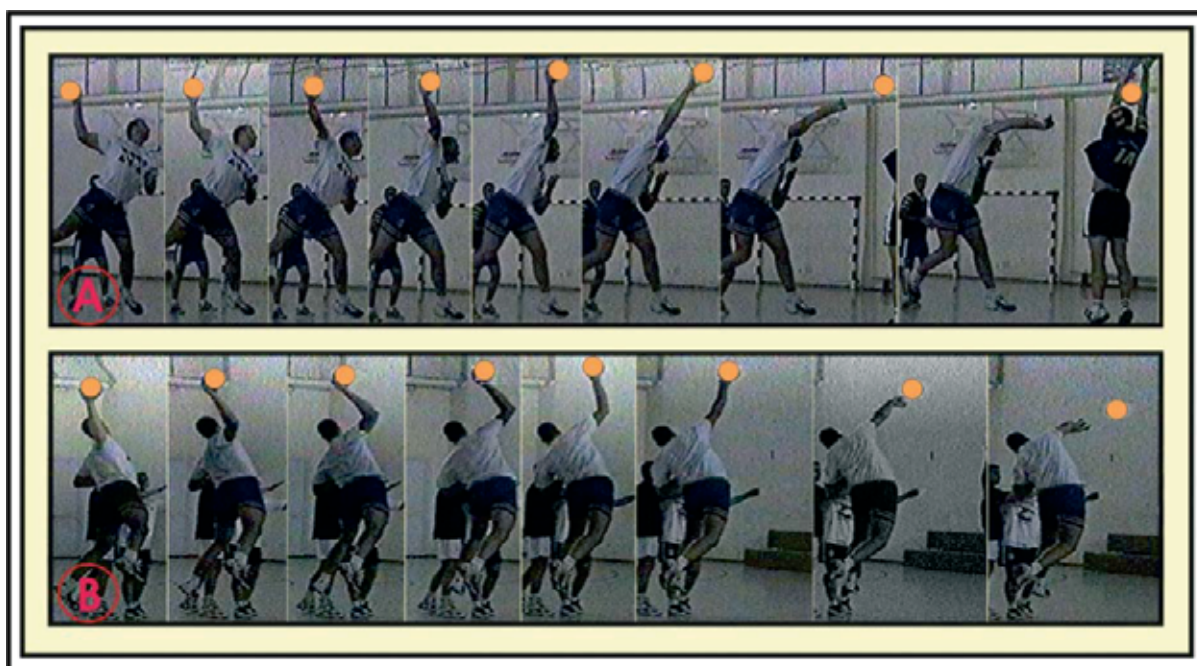


Figura 5.2.- Representación gráfica de la secuencia de movimientos realizados por el sujeto 2, durante la fase final del lanzamiento (A: visión anterior y B: visión posterior).

En el caso de la variable ángulo de torsión del tronco a través del eje vertical (α , *torsión tronco*) al final del lanzamiento (instante de la suelta), la media disminuye ligeramente en las situaciones de lanzamiento realizadas con oposición defensiva, esto puede ser debido a la presencia de un oponente (defensa de campo), el cual limita la amplitud de movimientos del lanzador. El valor negativo de esta variable indica que en todos los lanzamientos, en el momento de la suelta, hay una distorsión del tronco con respecto a la cadera. Considerando el principio de conservación del momento angular, los movimientos realizados en fase aérea, como ocurre en este caso, son compensatorios, por lo tanto si el eje de hombros está girando en un sentido, el eje de caderas tendrá necesariamente que girar en sentido contrario. Basándonos en dichas teorías, consideramos que la distorsión final es la consecuencia de un movimiento compensatorio de rotación de la cadera provocado por la rotación del eje de hombros.

Este hecho puede estar provocado por el tiempo necesario para desarrollar la cadena cinética y algunas condiciones compensatorias. Siguiendo a Hochmuth (1967) para el lanzamiento de balonmano y a Gutiérrez et al. (1992 y 1994) cuando analizan diferentes trayectorias en el remate de voleibol, se pone de manifiesto que, cuando la trayectoria se orienta hacia el punto débil (izquierda del lanzador en jugadores diestros) la cadena cinética implica una mayor rotación del tronco y, consiguiente, una compensación mayor en sentido contrario de caderas y miembros inferiores. Este hecho hace que se tarde más en desarrollar la cadena cinética (cadena cinética más larga) y se tengan que realizar ciertos ajustes temporales durante la fase de vuelo. La velocidad se ve reducida cuando el ángulo de distorsión no es muy elevado, debido a que, posiblemente no se pueda completar la cadena cinética adecuada para este tipo de lanzamientos o los movimientos compensatorios que se producen durante el vuelo dificulten la adecuada transferencia de energía entre segmentos (Párraga, 2001).

Por el contrario si se obliga a lanzar al punto fuerte, es decir a la derecha del lanzador en caso de jugadores diestros situando al portero a su izquierda en la portería, la cadena cinética implicada es más "natural" (Párraga, 1999), semejándose en la dinámica de los segmentos superiores del sistema a la que se utiliza en los lanzamientos de jabalina (Navarro, 1994) o en el lanzamiento del pitcher en béisbol (Gowan et al., 1987), implicando básicamente una rotación más desplazamiento del tronco hacia delante, asociado a una participación muy importante de los músculos rotadores del hombro en ciclo estiramiento-acortamiento, sin que exista una rotación excesiva del tronco, donde la línea de hombros se mueve paralela o casi paralela a portería, lo que permite que la velocidad de salida del balón en dichas condiciones sea mayor.

En nuestro estudio el factor oposición no ha condicionado significativamente el nivel de distorsión como parecía intuirse, aunque sí se observa una leve disminución de la distorsión en las situaciones con oposición. De lo expuesto se deduce que el

jugador siempre procura realizar la batida a una distancia óptima de la defensa de campo, que le permita realizar una torsión-distorsión amplia y eficaz para lanzar el balón a una gran velocidad (factor de eficacia). Esto confirma lo expuesto en párrafos anteriores, es decir, el jugador prepara el desencademaniento del gesto automatizado antes de despegar del suelo, en los pasos previos, de ahí que a veces opte por dar dos pasos en vez de tres o acorte más o menos el último paso. La automatización del gesto técnico de lanzamiento se detecta claramente en fase aérea, mientras que los ajustes o acciones relacionadas con el control motor se realizan en los momentos previos a la batida.

5.2.2.- Factores de proceso

Con el fin de seguir con la misma organización formal que en el capítulo correspondiente a los resultados, la discusión de los factores de proceso se agrupará en dos subapartados, el primero correspondiente a la discusión de los resultados obtenidos en las variables temporales; y el segundo, a la discusión de los resultados obtenidos en las variables relativas a las posiciones y velocidades desarrolladas.

5.2.2.1.- ANÁLISIS TEMPORAL

En este apartado analizaremos y confrontaremos los resultados obtenidos de las siguientes variables temporales: tiempo de impulso de frenado ($T1-T2$), tiempo de impulso de aceleración ($T2-T3$), tiempo de la fase preparatoria ($T4-T5$), tiempo de la fase de lanzamiento ($T5-T6$); y además de ciertos tiempos que hemos considerado relevantes como: el tiempo entre la máxima altura del CG y la suelta ($TMáxHCG$ suelta) y el tiempo entre la máxima altura del balón y la suelta ($TMáxHB$ suelta).

No son muy numerosos los estudios que se encargan directamente de determinar la duración total del gesto, sobretodo por la problemática de determinar cuando comienzan y terminan las distintas fases. Resulta difícil comparar la duración del gesto en los diversos estudios cuando las fases analizadas no son siempre definidas de la misma forma. Así, por ejemplo, Delemarche (1988) considera que el inicio del movimiento se efectúa en el instante en que la pelota comienza a desplazarse. Rouard y Carré (1987) consideran el final del movimiento cuando los pies tocan el suelo tras la fase de vuelo.

Con respecto a las condiciones experimentales propuestas (sin y con oposición), no se han encontrado diferencias significativas en los tiempos empleados en las fases en que se ha segmentado el gesto, no obstante se ha observado que las

variables tiempo de impulso de frenado ($T1-T2$) y tiempo de impulso de aceleración ($T2-T3$), aumenta y disminuye, respectivamente, con la oposición.

La suma de estas dos fases ($T1-T2$ y $T2-T3$), en las situaciones de sin y con oposición, determina el tiempo de batida, es decir, el intervalo de tiempo desde que el pie de batida toma contacto con el suelo hasta que la punta del mismo pie pierde contacto con el suelo (despegue). Dicha suma es similar en ambas situaciones ($M= 0.2573$ s, $SD= 0.04512$ sin oposición y $M= 0.2627$ s, $SD= 0.0617$ con oposición) y la estadística inferencial para estas dos variables no muestra diferencias significativas entre las situaciones experimentales propuestas. Los datos ponen de manifiesto que existe una importante consistencia temporal en la realización de la batida, hecho que se confirma al observar los coeficientes de variación (CV) para cada una de sus fases, presentados en la tabla 4.11. del capítulo correspondiente a los resultados, y que dicha consistencia temporal no se ve afectada por el hecho de que actúe una oposición de campo.

La variable tiempo de la fase preparatoria ($T4-T5$) muestra que los resultados son relativamente similares en las situaciones de sin y con oposición. Esto puede ser debido a que, en esta fase, el jugador ya tiene tomadas las decisiones relativas a la acción de lanzamiento. La estadística inferencial no nos permite establecer, en cuanto al factor experimental (oposición), diferencias estadísticamente significativas, pero sin embargo, sí presenta diferencias muy significativas con respecto al factor sujetos, lo que nos permite afirmar que entre los sujetos analizados existen bastantes diferencias en cuanto al tiempo de la fase preparatoria. Esto se explica por los ajustes que cada jugador realiza en función de sus características individuales (Gutiérrez 1988). Delemarche (1988), obtiene para la fase de armado, tiempos medios de 0.260 s \pm 0.015 , nosotros hemos obtenido para la situación sin oposición una media de 0.3145 s \pm 0.105 y para la situación con oposición una media de 0.3136 s \pm 0.125 . Esta diferencia puede estar condicionada por el momento en que se considere el comienzo de la torsión del tronco. Al observar los coeficientes de variación (CV) expuestos en la tabla 4.11., se nos revela que esta fase preparatoria es la que obtiene valores más altos, es decir, que se trata de una fase temporal donde existe una mayor variabilidad en el tiempo empleado. Este hecho debe estar motivado por la toma de decisiones y/o ajustes posturales que realiza el jugador en función de las acciones y/o posición que adopta el portero, el cual, debe de considerarse como un oponente al que también hay que superar, en este caso adoptando un lanzamiento con dirección y sentido adecuado. Esta adecuación será dependiente del desplazamiento o posición del portero.

La variable tiempo de la fase de lanzamiento ($T5-T6$), en nuestro estudio, muestra resultados relativamente similares en las situaciones de sin y con oposición. Delemarche (1988), en cuanto a la duración del lanzamiento propiamente dicho, es decir, desde el final del armado hasta la suelta del balón, obtiene tiempos de 0.140 s \pm 0.016 , en nuestro caso son relativamente superiores (0.20 s \pm 0.02 sin

oposición y $0.21 \text{ s} \pm 0.03$ con oposición). Esta reducción en el tiempo en los datos que presenta Delemarche (1988), consideramos que está motivada por la ausencia de portero en la realización de los lanzamientos y por la selección, en cuanto al inicio, de la fase de lanzamiento. Jöris et al. (1985), sin embargo, presentan valores algo superiores ($0.31 \text{ s} \pm 0.06$) a los que se han obtenido en nuestro estudio. En este caso, el incremento de los datos de Jöris et al. (1985), se justifica debido al género de la muestra, mientras que estos autores utilizan en su estudio una muestra de jugadoras de nivel alto nacional, la nuestra se trata de jugadores de División de Honor "B" Masculina. La estadística inferencial no nos permite establecer diferencias estadísticamente significativas entre las situaciones experimentales propuestas y los datos expuestos en la tabla 4.11., nos confirman la existencia de una gran consistencia temporal de esta fase, merced a unas desviaciones típicas pequeñas en las dos situaciones experimentales, y consecuentemente el menor coeficiente de variación de todas las fases descritas.

Esta consistencia está justificada por el desarrollo de la cadena cinética, aunque parezca sorprendente que la oposición no afecte a la secuencia temporal de la misma como se podría esperar. En este sentido los resultados confirman que una vez iniciada la fase de lanzamiento, el jugador prescinde de la oposición de campo como se ha descrito anteriormente, en esta fase parece que la decisión de dirección y sentido ya ha sido tomada y el lanzamiento se ejecuta con una secuencia temporal constante, lo que confirma los resultados de Párraga (1999), así como los resultados que se comentarán más adelante relativos al desarrollo de las cadenas cinéticas del lanzamiento.

Las medias de las variables temporales correspondientes al tiempo entre la máxima altura del CG y la suelta (***TMáxHCG*** suelta) y el tiempo entre la máxima altura del balón y la suelta (***TMáxHB*** suelta) son relativamente similares en las situaciones de sin y con oposición. El valor negativo en los resultados de estas dos variables indica que los jugadores sueltan el balón después de conseguir la máxima altura del CG, es decir que la suelta del balón se produce en trayectoria descendente.

La estadística inferencial de estas dos variables muestra que no existen diferencias significativas en ninguna de ellas, en lo referente al factor experimental (oposición), pero sí encontramos diferencias muy significativas ($p \ll 0.01$) en cuanto al factor sujetos, en la variable tiempo entre la máxima altura del CG y la suelta (***TMáxHCG*** suelta), lo que nos permite afirmar que, en cuanto a esta variable, entre los sujetos analizados existen bastantes diferencias.

5.2.2.2.- RELATIVOS A LAS POSICIONES ESPACIALES Y A LAS VELOCIDADES

En este apartado analizaremos las variables relativas a las posiciones espaciales

adoptadas (α , *máxima torsión tronco*) y a las velocidades desarrolladas por el CG del sistema lanzador más balón (velocidad tangencial del CG al final de la carrera - **VCG final carrera**-, velocidad tangencial del CG al final del impulso de frenado - **VCG final impulso frenado**-, velocidad tangencial del CG al final de la batida - **VCG final batida**- y velocidad tangencial del CG en la suelta del balón - **VCG suelta**-).

El ángulo de máxima torsión del tronco (α , *máxima torsión tronco*) es similar en las dos condiciones experimentales ($M= 51.55^\circ$, $SD= 19.79^\circ$; $M= 49.55^\circ$, $SD= 16.31^\circ$, para las situaciones de sin y con oposición, respectivamente). La estadística inferencial, para esta variable, no nos permite establecer diferencias estadísticamente significativas entre las situaciones experimentales propuestas. Esta máxima torsión se produce instantes antes de iniciar la fase de lanzamiento ya que el criterio utilizado para situar el inicio de dicha fase es el comienzo de la distorsión del eje de los hombros. En la figura 5.3. se presenta este instante, destacando la posición del eje de las caderas y el eje de hombros. En esta figura se observa como el eje de caderas tiene tendencia de orientación paralela a portería, mientras que el eje de hombros muestra una tendencia más perpendicular. Esta posición que se ha identificado en todos los jugadores y en las dos situaciones experimentales, nos confirma que la cadera ha sido rotada en la fase preparatoria hacia la dirección de lanzamiento provocando una torsión del tronco y un pre-estiramiento de la musculatura rotadora del tronco antes de iniciar la fase de lanzamiento propiamente dicha. Esto, a su vez, nos permite afirmar y corroborar los resultados obtenidos en la cadena cinética del lanzamiento, sobre la no participación del eje de caderas en la secuencia temporal de dicha cadena cinética.

Si observamos una secuencia de fotogramas (figura 5.4.), del lanzamiento analizado en nuestro estudio, a intervalos de 0.04 s, se observa como la distorsión entre el eje de caderas y el eje de hombros persiste desde el fotograma de despegue (fotograma 11) hasta el inicio de la fase de lanzamiento (fotograma 16), manteniendo dicha distorsión 0.2 s. Esto supone que durante esta fase de vuelo no existen movimientos de rotación relevantes con respecto al eje vertical (el eje de caderas y el eje de hombros ya están girados).

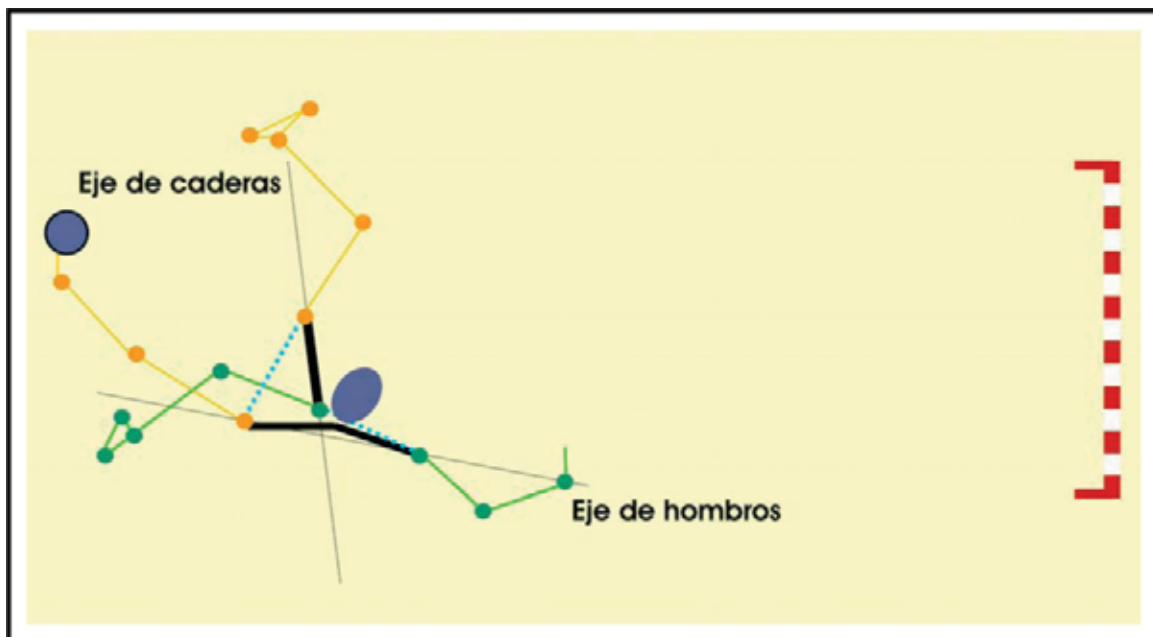


Figura 5.3.- Representación gráfica de la estructura alámbrica del sujeto 6 en el instante de máxima torsión del tronco.

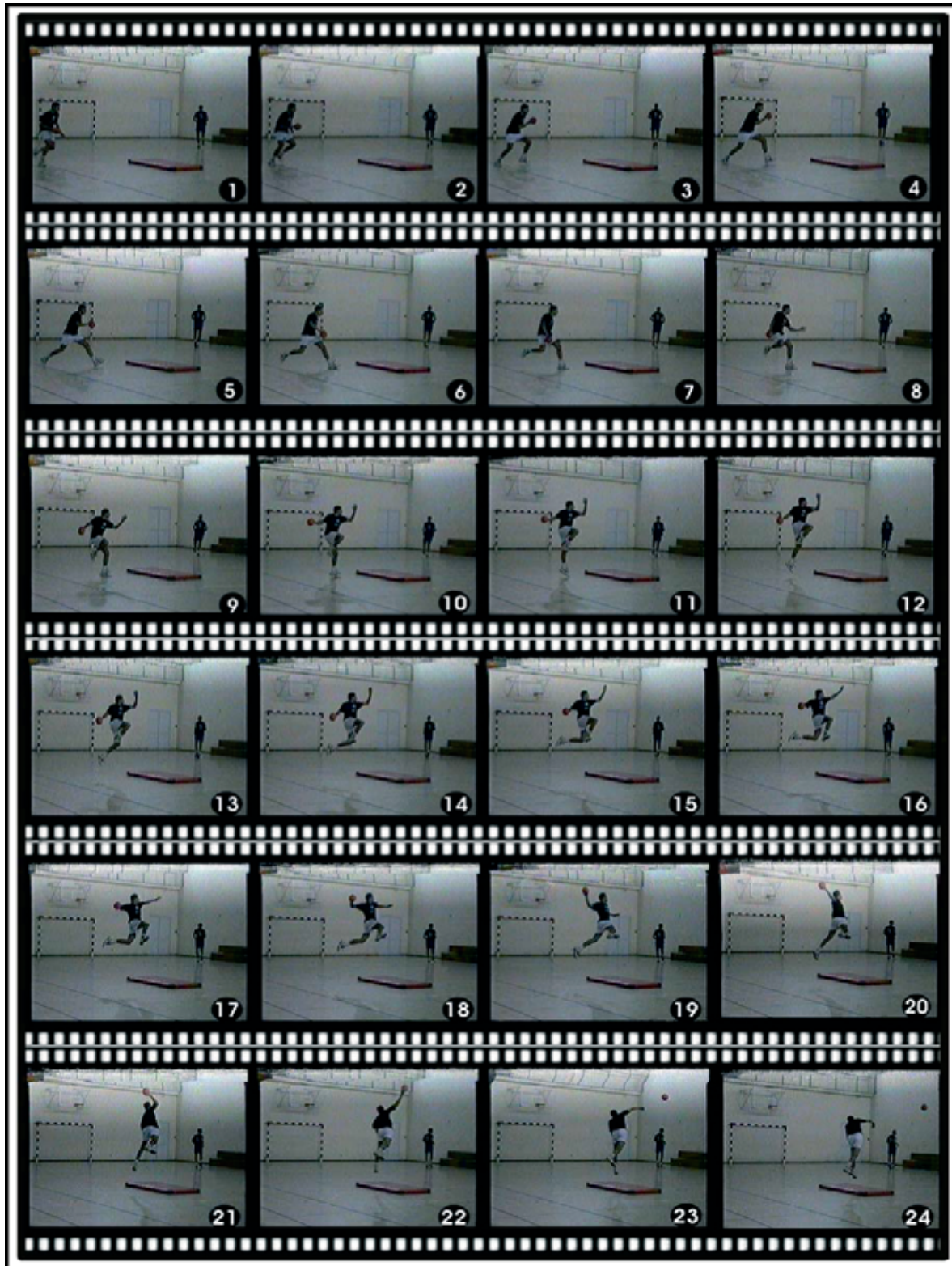


Figura 5.4.- Ejemplo de secuencia de fotogramas del lanzamiento en salto en balonmano (tomado de las filmaciones realizadas para la presente tesis -Sujeto 3-).

Este hecho tiene tres consecuencias: a) no serán necesarios ajustes posturales a través del eje vertical, b) se mantiene durante 0.2 s la tensión de la musculatura rotadora del tronco, por lo que no podemos hablar de ciclo acortamiento-estiramiento de dicha musculatura, sino de una tensión previa, y c) el eje de caderas no participa en la cadena cinética que se desarrollará durante la fase de lanzamiento.

En cuanto a las variables relacionadas con la velocidad del CG del sistema lanzador más balón en distintos momentos del lanzamiento, se observa una tendencia de las medias a disminuir en las cuatro variables, en mayor o menor medida con la oposición. La estadística inferencial de estas variables anteriormente mencionadas muestra que no existen diferencias significativas en ninguna de ellas, en lo referente al factor experimental (oposición), salvo en la variable velocidad tangencial del CG al final de la carrera (*VCG final carrera*) ($pd \gg 0.05$). El hecho de que la velocidad tangencial del CG al final de la carrera, sea menor cuando existe oposición, se debe a una mayor utilización de los tres pasos, como consecuencia de adaptar la distancia al oponente y/o realizar fintas, cambios de dirección y/o cambios de ritmo.

Esto pone de manifiesto que con la oposición disminuye significativamente la velocidad del CG al final de la carrera. En cuanto al factor sujetos, tampoco en ninguna de ellas, se detectan diferencias significativas, salvo en la variable velocidad tangencial del CG en la suelta del balón (*VCG suelta*), que muestra la existencia de diferencias muy significativas entre los sujetos, lo que confirma que la ejecución técnica tiene un componente individual.

5.2.3.- Evaluación de la cadena cinética del lanzamiento en salto.

La teoría general, a nivel biomecánico, aceptada por la mayoría de autores (Chagneau et al., 1992; Jöris et al. 1985; Küster, 1978; Kastner et al., 1978; Olberg, 1979; Sibila y Bon, 1999; Sibila et al., 1999; Taborsky et al., 1999; Zahalka et al., 1997; Zvonarek y Hraski, 1996), sobre los lanzamientos en balonmano es que el orden secuencial de participación de las distintas partes del cuerpo va desde las partes más proximales a las distales del cuerpo, permitiendo el desarrollo de la máxima velocidad y control de estas partes. Esta afirmación, tal y como se expuso en el apartado correspondiente a la revisión bibliográfica, fue cuestionada por los trabajos de Yamamoto et al. (1987), Tillaar et Ettemaa (2000, 2002, 2003a y 2003b) y Fradet et al. (2004). Estos autores señalan que se trata de una cadena cinética secuencial con particularidades, dicha particularidad es que en el caso de la articulación del codo, ésta alcanza la velocidad máxima antes que en el caso del hombro.

Jöris et al. (1985) y Chagneau et al. (1992) consideran que la movilización de los segmentos del cuerpo humano durante la realización de este lanzamiento se efectúa

de manera similar a la encontrada en las otras disciplinas deportivas de mano alta (béisbol, waterpolo, etc.). Estos autores suponen que los segmentos del brazo son los primeros movilizados, después de que haya intervenido el tronco. Según ellos, la cadena cinética se traduciría en una sucesión de picos de velocidad lineal o angular desde los segmentos proximales a los distales. El movimiento suele surgir desde la parte proximal, y así sucesivamente hasta las zonas más distales (muñeca y manos). La velocidad de las partes más pequeñas, más ligeras del cuerpo y con inercia menor se suma a la velocidad de las más grandes, logrando la mayor velocidad posible, esto es lo que se conoce como cadena cinética secuencial. La velocidad angular se va transfiriendo de un segmento a otro de la cadena cinética.

Fradet et al. (2004) plantean cierta controversia encontrada en la literatura, a la luz de los estudios de Yamamoto et al. (1987) y Tillaar y Ettemaa (2000, 2002, 2003a y 2003b), sobre la evolución de la cadena cinética en balonmano. En nuestro estudio hemos encontrado indicios que permiten corroborar lo que estas investigaciones adelantaban. Hemos detectado en el análisis de las cadenas cinéticas, en las situaciones sin y con oposición, que el pico en la velocidad tangencial del codo aparece antes que el pico de velocidad del eje de hombros. Deducimos que durante el lanzamiento en balonmano, los segmentos no siguen la típica progresión desde los segmentos proximales a los distales o, al menos, en base a la metodología utilizada por nosotros, posiblemente con un análisis de momentos o energético, los resultados pueden cambiar.

Como se ha constatado anteriormente al hablar del ángulo de torsión del tronco, la participación del eje de caderas en su rotación a través del eje vertical es prácticamente nula, manteniendo un comportamiento con valores constantes durante toda la fase de lanzamiento. Este hecho se debe a que la cadera comienza a girar antes de iniciarse esta fase como consecuencia de la acción de la pierna del lado ejecutor que se desplaza hacia arriba y hacia delante, produciendo así mismo la rotación de la cadera que finaliza prácticamente al final de la fase de batida.

Considerando la falta de participación de la cadera en la cadena cinética, podríamos pensar en dos efectos contradictorios, por un lado, se reduciría la posibilidad de transferencia de energía, tal y como describe Navarro (1994) para el lanzamiento de jabalina, y esto conllevaría una pérdida de velocidad final de salida del balón. Pero por otro lado, se reduce el tiempo de ejecución y éste es un factor de eficacia en los lanzamientos cuando existen referencias externas, como establece Gutiérrez et al. (1992) en el caso del voleibol. Todo ello, al margen de otros factores positivos como el no tener la necesidad de realizar ajustes posturales a través del eje vertical durante la fase de vuelo, lo que podría desestabilizar el lanzamiento.

Según lo expuesto, y basándonos en la secuencia temporal representada gráficamente en la figura 4.19. del capítulo de resultados, y en la secuencia de fotogramas expuesta en la figura 5.4., así como en los datos goniométricos

expresados en la tabla 4.9., la cadena cinética en el lanzamiento en salto en balonmano se inicia con una rotación del eje de los hombros a través del eje vertical, acompañada de una inclinación del tronco hacia delante y lateral hacia el lado no dominante, dichos movimientos del tronco arrastrarían al segmento brazo provocando una rotación externa de la articulación del hombro, lo que produce un estiramiento de los rotadores internos de dicha articulación. Cuando comienza a reducirse la velocidad tangencial, tanto de la articulación del hombro como del codo, se produce la rotación interna del hombro acompañada de la extensión del codo incrementándose la velocidad de los segmentos más distales (muñeca y balón). Finalmente cuando se reduce la velocidad del segmento antebrazo aumenta la velocidad del segmento mano y balón. La rotación interna final del brazo y la pronación final de la mano se pueden considerar como una acción protectora, especialmente de la articulación del codo después de que se produzca la suelta del balón.

CAPÍTULO VI

Conclusiones y perspectivas de investigación

CONCLUSIONES Y PROSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN

En este capítulo se exponen, por un lado, las conclusiones relevantes a las que se han llegado gracias a los resultados obtenidos y a la discusión de los mismos, y por otro, las perspectivas de investigación que se han ido revelando a lo largo del trabajo. Es importante resaltar que la valoración de las conclusiones debe hacerse teniendo en cuenta la metodología y el proceso seguido en el estudio.

6.1.- Conclusiones generales relativas al ámbito metodológico

- 1) Se ha desarrollado una metodología específica combinando registros procedentes de la observación sistemática con registros procedentes de la fotogrametría tridimensional, lo que nos ha permitido reducir el tiempo que requeriría la exclusiva utilización de las técnicas fotogramétricas.
- 2) Se han desarrollado las estrategias adecuadas a partir de estudios piloto, que nos han permitido utilizar un protocolo ajustado a los objetivos que se pretendían en este estudio. Nos hemos podido adaptar a la metodología científica y, concretamente, a la utilización de registros fotogramétricos, lo que nos ha permitido aumentar nuestra experiencia y proceso de aprendizaje en el ámbito de la metodología científica.

6.2.- Conclusiones específicas relativas al lanzamiento en salto en balonmano

- 3) La oposición de un jugador de campo constituye una causa que hace modificar la secuencia de pasos en la preparación del lanzamiento. Los jugadores agotan el ciclo de pasos (tres pasos), en todos los casos, cuando no existe oposición, con el propósito de coordinar el gesto técnico que suele aprenderse y automatizarse, tradicionalmente, con tres pasos y sin oposición.

- 4) Existe una mayor tendencia al empleo de cambios de ritmo, cambios de dirección y en variar (alargando y acortando) la longitud y amplitud de los pasos en los lanzamientos con oposición, respecto a los realizados sin oposición.
- 5) La trayectoria del jugador durante el vuelo, en ambas situaciones experimentales (sin y con oposición) es predominantemente vertical, aunque hay tendencia a combinarla con la trayectoria horizontal. Se observa que esta situación se manifiesta en mayor medida en los lanzamientos sin oposición.
- 6) Con independencia de la existencia o no de oposición, el jugador mantiene estable el lanzamiento, es decir, que la automatización del gesto de lanzamiento se refleja en ambas situaciones. Esta consistencia en la ejecución del lanzamiento permite pensar que el jugador cuando inicia la batida ya ha tomado la decisión de cómo desbordar al oponente directo de campo, y a partir de ese momento el portero constituiría su oponente más directo.
- 7) En las dos situaciones experimentales se produce una inclinación del tronco hacia delante y hacia el lado no dominante, es decir, que se lanza en rectificado, en las dos situaciones experimentales. Es posible que esta inclinación esté condicionada a la estructura articular del hombro, facilitando la rotación interna de dicha articulación, más el desplazamiento y extensión del codo en la dirección de lanzamiento.
- 8) En la fase de lanzamiento existe una gran consistencia temporal. Esta consistencia está justificada por el desarrollo de la cadena cinética, aunque parezca sorprendente que la oposición no afecte a la secuencia temporal de la misma como se podría esperar.
- 9) La cadena cinética en el lanzamiento en salto en balonmano, muestra que la participación del eje de caderas en su rotación a través del eje vertical es prácticamente nula, manteniendo un comportamiento con valores constantes durante toda la fase de lanzamiento, y creando una tensión inicial en los músculos rotadores del tronco.
- 10) La cadena cinética del lanzamiento se inicia con la rotación del eje de hombros a través del eje vertical, acompañada de una inclinación del tronco hacia delante y lateral hacia el lado no dominante, seguida de una rotación interna del hombro más extensión del codo y, finalmente, una flexión más ligera pronación de la mano que incrementa la velocidad de salida del balón.

6.3.- Prospectivas de investigación y transferencia de resultados

Una vez llegado a este punto final es normal constatar aspectos mejorables y nuevos para futuras investigaciones, las investigaciones deben sustentarse unas

en otras para progresar en la investigación. De la propia investigación surgen ideas y aspectos de mejora que servirán de base para investigaciones futuras, el proceso investigativo debe ser progresivo o sumativo.

- 1) Sería conveniente, para investigaciones venideras, estudiar la posibilidad de utilizar unas técnicas metodológicas e instrumentales más automatizadas y digitales (cámaras digitales, proceso de digitalización automático, etc.).
- 2) Sería conveniente ampliar el número de variables biomecánicas, sobre todo en relación a los movimientos previos a la batida (velocidad del jugador en la carrera, amplitud de los pasos de carrera, tiempo de carrera, etc.). Utilizar, además de velocidades tangenciales, las velocidades angulares, momentos angulares o estudios energéticos, con el fin de obtener una mayor información de los movimientos y, especialmente, de la cadena cinética.
- 3) Considerar la posibilidad del análisis del lanzamiento en salto en la misma situación de competición. Igualmente se pueden realizar en el futuro investigaciones que comparen la técnica del lanzamiento en salto en diferentes puestos específicos (extremo, segunda línea, primera línea, etc.).

Finalmente en cuanto a la transferencia de resultados al entrenamiento:

- 1) El aprendizaje y entrenamiento del lanzamiento en salto vertical debe combinar los factores de variabilidad y automatización del gesto. Posibilitando al jugador disponer de una mayor cantidad de recursos y una mayor calidad de ejecución. Por tanto es bueno entrenar en la polivalencia y la capacidad de variabilidad de los lanzamientos (sin y con oposición), pero en el momento del despegue del suelo es clave la consistencia (estabilidad) y la automatización.
- 2) Considerar la variabilidad individual en los gestos. Se ha puesto de manifiesto como, a pesar de la consistencia temporal de los gestos, cada jugador lo realiza de forma diferente, por lo tanto, no se debería forzar en el entrenamiento la adaptación del modelo a un patrón generalizado.
- 3) Se debe tener en cuenta, para el proceso de entrenamiento, que la oposición de campo condiciona los movimientos previos a la batida y que, cuando ésta se inicia, el lanzamiento está condicionado por la oposición del portero.

CAPÍTULO VII

Referencias bibliográficas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Aziz, Y.J. y Karara, H.M. (1971). Directer linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. *A.S.P. Symposium on close-range photogrammetry*. American Society of Photogrammetry: Falls Church, 1-18.
- Alonso Río, E. (1976). *Biomecánica de los armados por delante y por detrás en el lanzamiento en suspensión de balonmano en dos sujetos*. Tesina. Universidad Politécnica de Madrid.
- American Psychological Association (2001). *Publicación Manual (5ª Edición)*. New York: American Psychological Association.
- Anguera, M^a.T. (1989). *Metodología de la observación en las ciencias humanas*. Madrid: Cátedra.
- Antón, J. L. (1990). *Balonmano: Fundamentos y etapas de aprendizaje*. Madrid: Gymnos.
- Antón, J. (1991). *Análisis de los XII Campeonatos del Mundo de Balonmano Checoslovaquia 90*. Madrid: R.F.E.BM.
- Antón, J.L. (1998). *Táctica grupal ofensiva: concepto, estructura y metodología*. Madrid: Gymnos.
- Antón, J. (1992). *Los efectos de un aprendizaje táctico-estratégico individual sobre la optimización del lanzamiento de siete metros en balonmano en función del análisis de las conductas de interacción en competición*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad de Granada.
- Antúnez, A. (2003). *La interceptación en la portera de balonmano: efectos de un programa de entrenamiento perceptivo-motriz*. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia.
- Atwater, A. (1979). Biomechanics of the overarm throwing movements and of throwings injuries. *Exercise and Sports Sciences Reviews*, 7, 43-85.

- Barata, J. (1992). Changes in ball velocity in the handball free throw, induced by two different speed-strength training programs. *Motricidad humana/Portuguese-Journal of Human Performance Studies* (Lisboa) 8(1), Jan/June 1992, 45-55.
- Bárcenas, D. (1981). *Táctica colectiva ofensiva*. Madrid: Federación Española de Balonmano.
- Bárcenas, D. y Román, J. (1991). *Balonmano. Técnica y Metodología*. Madrid: Gymnos.
- Barrentine, S.W.; Matsuo, T.; Escamilla, R.F.; Fleisig, G.S.; Andrews J.R. (1998). Kinematic analysis of the wrist and forearm during baseball pitching. *Journal of Applied Biomechanics*, 1998, 14, 24-39.
- Bayer, C. (1986). *La enseñanza de los juegos deportivos colectivos*. Barcelona: Hispano Europea.
- Bayer, C. (1987). *Técnica del balonmano, la formación del jugador*. Barcelona: Hispano Europea.
- Bayios, I. y Boudolos, K. (1998). Accuracy and throwing velocity in handball. *XVI International Symposium on Biomechanics in Sports*, Proceedings I, Rielhe H.J., Vieten M.M. (eds), 55-58.
- Bayios, I.A.; Anastasopoulou, E.M.; Sioudris, D.S.; Boudolos, K.D. (2001). Relationship between isokinetic strength of the internal and external shoulder rotators and ball velocity in team handball. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41(2), 229-235.
- Best, R.J.; Bartlett, R.M.; Morriss, C.J. (1993). A three-dimensional analysis of javelin throwing technique. *Journal of Sports Sciences*, 1993, 11, 315-328.
- Bideau, B. (2003). *La réalité virtuelle pour l'analyse des duels sportifs: application au duel entre un gardien et un tireur au handball*. Tesis de la Universidad de Rennes 2.
- Bideau, B.; Kulpa, R.; Ménardais, S.; Multon, F.; Fradet, L.; Arnaldi, B.; Delamarche P. (2003). Real handball goalkeeper vs. virtual handball thrower. En prensa.
- Blázquez, D. (1986). *Iniciación a los deportes de equipo*. Barcelona: Martínez Roca.
- Blázquez, D. y Hernández Moreno, J. (1984). *Clasificación o Taxonomías Deportivas*. Barcelona: Inde.
- Bober, T. (1995). *Investigación aplicada en biomecánica del deporte*. I.A.D. Junta de Andalucía, Málaga, 19, 355-360.
- Bosco, C. (1983). La relazione forza-velocità e la prestazione. *Scuola dello Sport*, 2, 10-13.

- Bosco, C. (1985). L'effetto del pre-stiramiento sul comportamento del muscolo scheletrico e considerazioni fisiologiche sulla forza esplosiva. *Atleticastudi*, 1, 7-113.
- Boudon, R. (1967). Les relations causals: problèmes de définition et de vérification. *Revue Française de Sociologie*, 8, 389-402.
- Bouet, M. A. (1968). *Signification du Sport*. Paris: Editions Universitaires.
- Bretagne, T.(1980). Lance missiles du sport. *Equipe magazine*, 15, 10, 4-7.
- Buckley, J.P. y Kerwin, D.G. (1988). The role of the biceps and triceps brachii during tennis serving. *Ergonomics*, 31(11), 1621-1629.
- Bunn J.W. (1972). *Scientific principles of coaching*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Carazo, A. (2004). *Análisis biomecánico de los golpes Clear, Drop y Remate en bádminton*. Tesis Doctoral. Servicio de publicaciones. Universidad de Granada.
- Cárdenas, D. (1995). *Desarrollo y aplicación de un sistema automatizado para la mejora de las variables comportamentales del pase de baloncesto*. Tesis Doctoral. Servicio de publicaciones. Universidad de Granada.
- Carreras, J. (1992). Propuesta de metodología para el perfeccionamiento del lanzamiento en balonmano en la etapa de iniciación. *Apunts: Educació Física i Esports*, 30, 38-44.
- Cavagna, G.A.; Saibene, F.P. y Margaria, R. (1965). Effect of negative work on the amount of positive work performed by an isolated muscle. *Journal of Physiology*, 20, 157-158.
- Cercel, P. (1980). *Balonmano. Ejercicios para las fases de juego*. Bucarest: Sport Turism.
- Cercel, P. (1990). *Andebol: O Treino de Equipas Masculinas*. Portugal: Bidesporto.
- Chagneau, F.; Delamarche, P.; Levasseur, M. (1992). Stroboscopic computerized determination of humeral rotation in overarm throwing. *British Journal of Sports Medicine*, 26(1), 59-62.
- Chirosa, I.J. (2003). *Efecto de dos metodologías de aplicación de una carga submáxima en el entrenamiento de fuerza. El entrenamiento en circuito frente a un régimen de trabajo localizado*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad de Granada.
- Chirosa, L.J. (1998). *Eficacia del entrenamiento con un método de contraste para la mejora de la fuerza de impulsión en relación a otro de tipo convencional en Balonmano*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad de Granada.

- Colas, M.P. y Buendía, L. (1992). *Investigación educativa*. Cádiz: Alfar.
- Cooper, J.M. y Glassow, R.B. (1968). *Kinesiology*. Saint Louis: C.V. Mosby.
- Czerwisnki, J. (1993). *El Balonmano: técnica, táctica y entrenamiento*. Barcelona: Paidotribo.
- Davis, T. y Blanksby, B.A. (1977). A cinematographic analysis of the overhand waterpolo throws. *Journal Sports Medicine and Physical Fitness*, 17, 5-16.
- Dapena, J. y Chung, S.C. (1988). Vertical and radial motions of the body during the take-off phase of high jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20, 3, 290-302.
- Delamarche, P. (1982). *Contribution à l'étude biomécanique du tir au handball: approche stroboscopique et électromyographique*. Tesina de la Université d'Orsay.
- Delamarche, P. (1988). Biomécanique du tir au handball, analyse au niveau du bras lanceur. Tesis Doctoral de la Universidad de Paris XI.
- Delgado, M.A. (1994). *Análisis de los comportamientos docentes del entrenador*. Apuntes del Master en Alto Rendimiento Deportivo. Centro Olímpico de Estudios Superiores: Comité Olímpico Español.
- Dyson, W.T. (1973). *The mechanics of athletics* (6th ed.). London: University of London Press.
- Durand, M. (1988). *El niño y el deporte*. Madrid: Paidós.
- Durocher, C. (2001). Tir en appui et tir en suspension en handball, comparaison des paramètres cinématiques. Tesina de la Universidad de Rennes 2.
- Eliasz, J. (1996). The relationships between throwing velocity and motor ability parameters of the high-performance handball players. *In XIII International symposium for biomechanics in sport: proceedings*. Lakehead University, Thunder Bay, Ontario, Canada, July 18-22, Lakehead University, 38-43.
- Eliasz, J.; Janik, J.; y Wit, A. (1990). Ball flight velocity during throws in handball. *Sport Wyczynowy (warsaw)*, 28 (9-10), 17-23.
- Elliott, B.; Grove, J.R.; Gibson, B.; Thurston, B. (1986a). A three-dimensional cinematographic analysis of the fastball and curveball pitches in baseball. *International Journal of Sport Biomechanics*, 2, 20-28.
- Elliott, B.; Marsh T. y Blanksby B. (1986b). A three-dimensional kinematic analysis of the tennis serve. *International Journal of Sports Biomechanics*, 2, 260-271.
- Elliott, B. y Armour, J. (1988). The penalty throw in water polo: a cinematographic analysis. *Journal of Sport Sciences*, 6, 103-114.

- Elliott, B.; Marsh, T.; Overheu, P. (1989). A biomechanical comparison of the multisegment and single unit topspin forehand drives in tennis. *International Journal of Sports Biomechanics*, 5, 350-364.
- Escamilla, R.F.; Fleisig, G.S.; Barrentine, S.W.; Zheng, N.; Andrews, J.R. (1998). Kinematic comparison of throwing different types of baseball pitching. *Journal of Applied Biomechanics*, 14, 1-23.
- Escamilla, R.F.; Fleisig, G.S.; Zheng, N.; Barrentine, S.W.; Andrews, J.R. (2001). Kinematic comparison of 1996 Olympic baseball pitchers. *Journal of sports sciences*, 19, 665-676.
- Escamilla, R.F.; Fleisig, G.S.; Barrentine, S.W.; Andrews, J.R.; Moorman, C. (2002). Kinematic and kinetic comparison between American and Korean professional baseball pitchers. *Sports Biomechanics*, 1(2), 213-228.
- Falkowski, M. y Enríquez, E. (1982). *Estudio monográfico de los jugadores de campo*. Madrid: Esteban Sanz.
- Farfel, V.S. (1988). *Il controllo dei movimenti sportivi*. Roma: Società Stampa.
- Faure, F. (1997). *Deux problèmes physiques pour la synthèse d'images*. Tesis de la Universidad Joseph Fourier, especialidad informática.
- Feltner, M.E. y Dapena, J. (1986). Dynamics of the shoulder and elbows joints of the throwing arm during a baseball pitch. *International Journal of Sport Biomechanics*, 2, 235-259.
- Feltner, M.E. (1989). Three-dimensional interactions in a two-segment kinetic chain. Part II: Application to the throwing arm in baseball pitching. *International Journal of Sport Biomechanics*, 5, 420-450.
- Feltner, M.E. y Nelson, S.T. (1996). Three dimensional kinematics of the throwing arm during the penalty throw in water polo. *Journal of Applied Biomechanics*, 12, 359-382.
- Feltner, M.E. y Taylor, G. (1997). Three dimensional kinetics of the shoulder, elbow and wrist during a penalty throw in water polo. *Journal of Applied Biomechanics*, 13, 347-372.
- Filliard, J.R. (1985). *Contribution à la mesure de la vitesse du tir au handball*. Tesis de la Universidad de Paris-Sur.
- Filliard, J.R. (1989). L'effet Doppler: aplicación a mesure de la vitesse de balle en handball. *Science et Motricité* (Paris), 7, 42-44.
- Fleck, S.J.; Smith, S.L.; Craib, M.W.; Denaham, T.; Snow, R.E. y Mitchell, M.L. (1992). Upper extremity isokinetic torque and throwing velocity in team handball. *Journal of Applied Sport Science Research*, 6, 120-124.
- Fleisig, G.S.; Andrews, J.R.; Dillman, C.J.; Escamilla, R.F. (1995). Kinetics of baseball

- pitching with implications about injury mechanisms. *The American Journal of Sports Medicine*, 23(2), 233-239.
- Fleisig, G.S.; Barrentine, S.W.; Escamilla, R.F.; Andrews, J.R. (1996a). Biomechanics of overhand throwing with implications for injuries. *Sports Medicine*, 21(6), 421-437.
- Fleisig, G.S.; Escamilla, R.F.; Andrews, J.R.; Matsuo, T.; Satterwhite, Y.; Barrentine, S.W. (1996b). Kinematic and kinetic comparison between baseball pitching and football passing. *Journal of Applied Biomechanics*, 12, 207-224.
- Fleisig, G.S.; Barrentine, S.W.; Zheng, N.; Escamilla R.F. y Andrews J.R. (1999). Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development. *Journal of Biomechanics*, 32, 1371-1375.
- Fradet, L. (2003). *Analyse biomécanique, modélisation et simulation du tir au handball*. Tesis de la Universidad de Rennes 2.
- Fradet, L.; Botcazou, M.; Durocher, C.; Cretual, A.; Multon, F.; Prioux, J.; Delamarche, P. (2004). Do handball throws always exhibit a proximal to distal segmental sequence?. *Journal of Sports Sciences*, 22(5), 439-447.
- Goluch, A. (1982). Biomecánica aplicada al balonmano: cambios de la energía cinética durante los lanzamientos en balonmano. *F.E.B.M.*, nº 71.
- Gómez Píriz, P (2000). *Efecto de tres modelos de ejecución del golpeo con el pie del portero de fútbol sobre la precisión y los factores biomecánicos de eficacia*. Tesis Doctoral. Servicio de publicaciones. Universidad de Granada.
- Gómez, P.J. (2002). *Análisis biomecánico de la técnica del viraje del slalom en el esquí alpino*. Tesis Doctoral. Servicio de publicaciones. Universidad de Granada.
- Gorospe, G. (1999). *Observación y análisis de la acción de juego en el tenis de individuales: aportaciones del análisis secuencial y de las coordenadas polares*. Tesis Doctoral. Instituto Vasco de Educación Física.
- Gowan, I.D.; Jobe, F.W.; Tibone, J.E.; Perry, J. y Moines, D.R. (1987). Comparative electromyographic analysis of the shoulder during pitching: professional versus amateur pitchers. *American Journal of Sports Medicine*, 15(6), 586-590.
- Greene, P.H. (1972). *Problems of organization of motor systems*. (Rosen, R. Y Snell, F.M. Eds), Progress en theoretical biology. New york: Academic Press.
- Gutiérrez, M. (1988). *Estructura biomecánica de la motricidad*. Granada: Club Deportivo Instituto Nacional de Educación Física.
- Gutiérrez, M.; Oña, A. y Santamaría, F.J. (1988). Hacia una epistemología motriz como resultado de la aproximación científica al estudio del movimiento humano. *Motricidad*, 1, 7-16.
- Gutiérrez, M. (1990). *Desarrollo de un sistema computerizado de análisis*

- cinematográfico y su sincronización con los registros directos para el análisis del movimiento humano*. Tesis Doctoral. Servicio de publicaciones. Universidad de Granada.
- Gutiérrez, M.; Soto, V.M. y Martínez, M. (1990). *Sistema de análisis computerizado para el movimiento humano*. Málaga: UNISPORT.
- Gutiérrez, M. y Soto, V.M. (1991). Análisis biomecánico del salto de altura. Granada: Club Deportivo Instituto Nacional de Educación Física.
- Gutiérrez, M.; Soto, V.M. y Santos, J.A. (1992). *Análisis Biomecánico del Remate de Voleibol*. Granada: Departamento de Educación Física y Deportiva.
- Gutiérrez, M. y Padial, M. (1994). Efecto de la precontracción muscular sobre el tiempo de impulso y altura alcanzada por corredores en salto vertical. *Archivos de Medicina del Deporte*, 8, 29, 23-27.
- Gutiérrez, M. (1998). *Biomecánica deportiva: bases para el análisis*. Madrid: Síntesis.
- Gutiérrez, M. y Martínez, J.A. (1999). Método matemático para la sincronización de la cámara mediante la utilización de los algoritmos DLT. *Biomecánica*, VII, 13, 66-77.
- Gutiérrez-Dávila, M. y Oña, A. (2005). *Metodología de las Ciencias del Deporte*. Madrid: Síntesis.
- Han, T.R.; Kim, S.K.; Yoo, M.J.; Chung, S.G.; Lee, S.U.; Lee, S.J. (1996). Kinematic analysis of throwing motion of Korean professional baseball pitchers. *Korean Journal of Sports Medicine*, 14, 13-21.
- Hayman, J.L. (1981). *Investigación y educación*. Barcelona: Piados Ecuador.
- Henry, F.M. y Rogers, D.E. (1960). Increased response latency for complicated movements and a memory-drum theory of neuromotor reaction. *Research Quarterly*, 31, 440-447.
- Hernández Moreno, J. (1984). Factores que determinan la estructura funcional de los deportes de equipo. *Apunts: Educación Física y Deportes*. XXI, 81, 37-45.
- Hernández, J. (1988). Diferentes perspectivas de análisis de la acción de juego en los deportes de equipo. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, II, nº 5-6.
- Hill, A. (1922). The maximum work and mechanical efficiency of human muscles, and their most economical speed. *Journal of Physiology*, 56, 19-41.
- Hochmuth, G. (1967). *Biomechanic sportlicher Bewegungen*. Berlin: Sport verlag.
- Hochmuth, G. (1973). *Biomecánica de los movimientos deportivos*. Madrid: Doncel.
- Hoff, J. y Almasbakk, B. (1995). The effects of maximum strength training on throwing velocity and muscle strength in female team-handball players. *Journal*

of Strength and Conditioning Research, 9, 255-258.

- Hoff, J.; Almasbakk, B. (1996). The effects of maximum strength training on throwing velocity and muscle strength in female team handball players. *The pivot/Le pivot* (St Jovite, Que.) (1), Apr/May 1996, 18-22.
- Holt, L.E. (1969). Comparative study of selected handball technique. *Research quarterly* 40(4), Dec 1969, 700-703. <http://www.arielnet.com/Main/adw-22.html>
- Hore, J.; Watts, S.; Martin, J.; Miller, B. (1995). Timing of finger opening and ball release in fast and accurate overarm throws. *Experimental Brain Research*, 103, 277-286.
- Hore, J.; Watts, S.; Tweed, D. (1996). Error in the control of joint rotations associated with inaccuracies in overarm throws. *Journal of Neurophysiology*, 75(3), 1013-1025.
- Hore, J.; Ritchie, R.; Watts, S. (1999). Finger opening in an overarm throw is not triggered by proprioceptive feedback from elbow extension or wrist flexion. *Experimental Brain Research*, 125, 302-312.
- Hudson, J.L. (1985). Prediction of basketball skill using biomechanical variables. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 56 (2), 115-121.
- Jobe, F.W., Moynes, D.R., Tibone, J.E. y Perry, J (1984). An EMG analysis of the shoulder in pitching: a second report. *American Journal of Sports Medicine*. 12(3), 218-220.
- Jöris, H.J.J.; Kemper, H.C.G.; van Ingen Schenau, G.J., (1991). Throwing practice with different ball weights: effects on throwing velocity and muscle strength in female handball players. *Sports Training, Medicine and Rehabilitation*, 2, 103-113.
- Jöris, H.J.J.; Edwards van Muyen, A.J.; van Ingen Schenau, G.J.; Kemper, H.C.G. (1985). Force, velocity and energy flow during the overarm throw in female handball players. *Journal of Biomechanics*, 18(6), 409-414.
- Kastner, J.; Pollany, W.; Sobotka, R. (1978). Der schlagwurf im handball. Untersuchung zweier Hauptvarianten der Wurfausführung mit kritischer Beurteilung ihrer Einsatzmöglichkeiten im Wettkampf. Le tir classique au handball. Analyse de deux variantes principales et appréciation critique des possibilités de leur application en compétition. *Leistungssport*, 4, 287-298.
- Keler, V. y Tishler, D (1984). *El entrenamiento de los esgrimistas*. Ciudad de la Habana: Científico-técnica.
- Knapp, B. (1963). *Skill in sport: The attainment of proficiency*. London: Routledge & Kegan Paul.

- Komi, P.V. (1973). Relationship between muscle tension. EMG y velocity of contraction under concentric and eccentric. *New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology*, 596-606.
- Komi, P.V. (1984). Physiological and biomechanical correlates of muscle function: Effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 12.
- Komi, P.V. y Mero, A. (1985). Biomechanical analysis of olympic javelin throwers. *International Journal of Sports Biomechanics*, 14, 13-21.
- Kotzamanidis, C.; Akoufas, D.; Tsarouhas, L. y Giavroglou, A. (1986). The effect of the previously obtained acceleration of the body and the hand on the velocity the delivery ball. *Athlitiki Epistimi I*, 36-40.
- Kotzamanidis, C.; Papadopoulos, C.; Giavroglou, A. (1987). Kinematic-dynamic analysis of the support phase in different throws of handball. In Tsarouchas, L. (ed.), Hellenic Sports Research Institute, *Biomechanics in sports V: proceedings of the Fifth International Symposium of Biomechanics in Sports*, held in 1987 at Athens, Greece, Athens, Hellenic Sports Research Institute, Olympic Sports Center of Athens, 212-226.
- Kreighbaum, E. y Barthels, K.M. (1981). *Biomechanics a Qualitative Approach for Studying Human Movement*. Burgess Publishing Company: Minneapolis. Minnesota, 377-411.
- Küster, J. y Pollany, W. (1978). Der schlagwurf in Hand Ball. Unter suchung zweir hauptvarianten der vuzfausfuhrung mit kritischer. Burteilung ihrer. Einsatzmoglich- keiten in Wettkamph. *Leistungssport* n° 4. Deutschland.
- Laguna, M. (1996). *La enseñanza entrenamiento de los lanzamientos*. Clinic deporte de base. Madrid: Paper.
- Latiskevits, L.A. (1991). *Balonmano*. Barcelona: Paidotribo.
- Leva, P. de (1996). Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*, 29 (9), 1223-1230.
- López Contreras, G. (2002). *Influencia de las modificaciones producidas por la ejecución de variaciones técnicas sobre los factores biomecánicos del estilo crol en natación*. Tesis Doctoral. Servicio de publicaciones. Universidad de Granada.
- López, M. (1995). *Análisis biomecánico del golpeo en faltas directas ante barrera en fútbol*. Tesis doctoral Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad de Granada.
- López, P.; Párraga, J. y Gutiérrez, M. (2003). Estudio de las zonas de lanzamiento en el XVIII Campeonato del Mundo de Balonmano de Portugal 2003: especial

- incidencia en los lanzamientos en salto con y sin oposición desde la primera línea atacante. *II Congreso Mundial de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* (116-121). Granada: Universidad de Granada.
- Marczinka, Z. (1993). *Playing Handball*. Budapest: Trio Budapest Publishing Company.
- Marshall, R.N.; Wood, G.A. (1986). Movement expectation and simulations: segment interactions in drop punt kicking. *Biomechanics, the 1984 Olympic Scientific Congress Proceedings*, Adrian M., Deutch H. (eds), Eugene, OR: *Microform Publications*, 111-118.
- Matsuo, T.; Escamilla, R.F.; Fleisig, G.S.; Barrentine, S.W.; Andrews, J.R. (2001). Comparison of kinematic and temporal parameters between different pitch velocity groups. *Journal of Applied Biomechanics*, 17(1), 1-13.
- Matveiev, L. (1985). *Fundamentos del entrenamiento deportivo*. Moscú (RUS): Raduga.
- Maureira, H.A. (2003). *Efecto de la acción de brazos y contramovimiento sobre los factores biomecánicos que determinan el salto vertical*. Tesis Doctoral. Servicio de publicaciones. Universidad de Granada.
- McCloy, C.H. (1960). *The mechanical analysis of motor skills*. In: WR Johnson (ed), *Science and Medicine of Exercise and Sports*. New York: Harper and Row.
- Medina, J. y Delgado, M.A. (1999). Metodología de entrenamiento de observadores para investigaciones sobre E.F. y deporte en las que se utilice como método la observación. *Motricidad*, 5, 69-86.
- Mero, A. y Komi, P.V. (1994). Body segments contributions to javelin throwing during final thrust phases. *Journal of Applied Biomechanics*, 10, 166-167.
- Mestre, J.M. (1975). Estudio comparativo entre lanzamiento en apoyo y suspensión en balonmano mediante análisis biomecánico. *INEF Madrid*. Inédito.
- Mikkelsen, F.D. y Olesen, M.N. (1976). *Étude physiologique du handball*. Traduction Lacour J.R., INSEP, Paris, 1976.
- Montes, M.A. (2003). *Análisis biomecánico de corredores de medio fondo en condiciones de fatiga*. Tesis Doctoral. Servicio de publicaciones. Universidad de Granada.
- Multon, F. (1998). *Contrôle des mouvements des humanoïdes de synthèse*. Thèse soutenue devant l'Université de Rennes I.
- Müller, E. (1980). *Zur Bewegungsübertragung bei Wurfbewegungen*. Institut für Sportwissenschaft der Universität Innsbrucks, Innsbruck.
- Navarro, E. (1994). *Análisis biomecánico de la técnica individual del lanzamiento*

- de jabalina*. Tesis Doctoral. Instituto Biomecánico de Valencia. Universidad Politécnica de Valencia.
- Neal, R.J. y Wilson, B.D. (1985). 3D kinematics and kinetics of the golf swing. *International Journal of Sport Biomechanics*, 1, 221-232.
- Neal, R.J.; Zinder, C.W.; Kroonenberger, P.M. (1991). Individual differences and segment interaction in throwing. *Human Movement Science*, 10, 653-676.
- Noteboom, T. (1990). *Les fondements pédagogiques et techniques du hand-ball*. Paris: Amphora.
- Olberg, J. (1979). *Quantitative Bestimmung der Wurfgenauigkeit und Ballspielgeschwindigkeit im Hallenhandball am Beispiel von Oberligaspielern*. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Köln: Deutsche Sporthochschule Köln.
- Oña, A. (1994). *Comportamiento Motor. Bases psicológicas del movimiento humano*. Granada: Servicio de publicaciones. Universidad de Granada.
- Parlebás, P. (1981). *Contribution á un lexique commenté en science de l'action motrice*. París: INSEP.
- Párraga, J.A. (1999). *Efectos de la variación del tiempo de aparición de estímulos visuales sobre la precisión y los parámetros biomecánicos en el lanzamiento en balonmano*. Tesis Doctoral. Servicio de publicaciones. Universidad de Granada.
- Párraga, J.A.; Sánchez, A; Oña, A. (2001). Importancia de la velocidad de salida del balón y de la precisión como parámetros de eficacia en el lanzamiento en salto a distancia en balonmano. *Apunts: Educación Física y Deportes*, 66, 44-51.
- Pauwels, J. (1976). Relationship between somatic development and motor ability, and the throwing velocity in handball for secondary school students. In Proceedings, *International Congress on Physical Activity Sciences*, Quebec City, Jul. 11-16, 1976, Volume 6, 357-369.
- Pereda, S. (1987). *Psicología Experimental I. Metodología*. Madrid: Pirámide.
- Perrine, J.J. y Edgerton, V.R. (1978). Muscle force-velocity and power-velocity relationships under isokinetic loading. *Medicine Science and Sport*, 10, 156-159.
- Plagenhoeff, S. (1971). *Patterns of human motion*. Toronto: Prentice-Hall.
- Pokrajac, B. (1980). Difference between initial ball velocities when using a sidearm throw in fieldball. *Fizicka kultura*, 34(4), 1980, 333-337.
- Poulton, E.C. (1957). On prediction in skilled movements. *Psychological Bulletin*, 54, 467-478.
- Putnam, C. (1983). Interaction between segments during a kicking motion. En

- Biomechanics VIII-B: Proceedings*, (Editado por Matsui, H y Kobayashi, K.), Human Kinetics, Champaign, Illinois, 688-695.
- Putnam, C. (1991). A segment interaction análisis of proximal to distal sequential segment motion patterns. *Medecine Sciences and Sports Exercices*, 23(1), 130-144.
- R.F.E.BM., (2001). *Reglas de juego*. Madrid: Consejo Superior de Deportes.
- Ramón, G. (2002). *Análisis de factores biomecánicos y comportamentales relacionados con la efectividad del uchi mata, ejecutado por judokas de alto rendimiento*. Tesis Doctoral. Servicio de publicaciones. Universidad de Granada.
- Rash, G.S. (1994). A comparison of 51 kinematic /kinetic parameters in the throwing motion of the short and long pass of 4 elite college quarterbacks. *Medicine and Sciences in Sport and Exercise*, 26, 176.
- Rash, G.S. y Shapiro, R. (1995). A three-dimensional dynamic analysis of the quarterback's throwing motion in American football. *Journal of Applied Biomechanics*, 11, 443-459.
- Rivière, D. (1989). *Hand-ball: les conseils d'un entrainer à ses joueurs*. París: Vigot.
- Robertson, D.G.E. y Mosher, R.E. (1985). Work and power of the leg muscles in soccer kicking. Biomechanics IX-B, Winter D.A., Norman R.W., Wells R.P., Patla A.E. (eds), Champaign, IL., *Human Kinetics*, 533-538.
- Rodríguez García, P.L. (1998). *Educación física y salud del escolar: Programa para la mejora de la extensibilidad isquiosural y del raquis en el plano sagital*. Tesis Doctoral. Servicio de Publicaciones. Universidad de Granada.
- Rojas, F.J. (1997). *Efecto de la oposición sobre los factores biomecánicos del lanzamiento en salto tras carrera previa en baloncesto*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad de Granada.
- Román, J.D. (1989). *Análisis de los VII Campeonatos del Mundo Junior de Balonmano, Galicia 1989*. Galicia: Xunta de Galicia. Presidencia. Secretaría Xeral para o Deporte.
- Román, J.D. (1993). Documentos en Balonmano. *Congreso Internacional de Especialistas en Balonmano*. INEF. Madrid. 1-4, julio.
- Román, J.D. (1997). Estudio de las zonas de lanzamiento en los JJ.OO. de Atlanta '96: especial incidencia de los lanzamientos desde la primera línea. *VI Jornadas para entrenadores de balonmano, IAD*. Andalucía.
- Román, J.D. (2001a). *2001 Men's youth european championship*. Comunicación técnica nº 208. Revista Asociación de Entrenadores de Balonmano nº 18.
- Román, J.D. (2001b). *Campeonato de Europa Juvenil masculino 2001 (1ª parte)*.

- R.F.E.B.M. Comunicación técnica N° 209.
- Román, J.D. (2001c). *Campeonato de Europa Juvenil masculino 2001* (2ª parte). R.F.E.B.M. Comunicación técnica N° 209.
- Rouard, A. y Carre, P. (1987). Étude biomécanique du tir en suspension en handball. *STAPS: Revue des Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives* (Grenoble) 8(16), dec 1987, 57-71.
- Ruiz, L.M. y Sánchez, F. (1997). *Rendimiento deportivo. Claves para la optimización de los aprendizajes*. Madrid: Gymnos.
- Sakurai, S.; Ikegami, Y.; Okamoto, A.; Yabe, K.; Toyoshima, S. (1993). A three-dimensional cinematographic analysis of upper limb movement during fastball and curveball baseball pitches. *Journal of Applied Biomechanics*, 9, 47-65.
- Sale, D. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20, 135-143.
- Sánchez Bañuelos, F. (1992). *Bases para una didáctica de la Educación física y el deporte*. Madrid: Gymnos.
- Sánchez Molina, J. (1990). *Estudio kinográfico de la técnica en el ataque en balonmano: recepciones, pases y lanzamientos*. Málaga: Unisport.
- Sánchez Sánchez, F. (1991). *Análisis del Contenido del Juego*. En J. García, (Coord.), C. Salinas, Mª C. Ibero, L.C. Torrecusa, J. Álvaro, J.A. Gutiérrez y J.J. Muñoz (Eds.), *Balonmano* (30-63). Madrid: Comité Olímpico Español.
- Sánchez, A. (1997). *Influencia de los factores biomecánicos que determinan la eficacia del lanzamiento sobre el nivel de rendimiento deportivo en baloncesto*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad de Granada.
- Schmidt, R.A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82, 225-260.
- Schmidt, R. (1988). *Motor Control and Learning*. Illinois (USA): Human Kinetics Publishers, Inc.
- Schmidtbleicher, D. (1992). Training for power events. Edited by komi P.V. *Blackwell scientific publication*. London. 381-385.
- Selltiz, C.; Jahoda, M.; Deutsch, M.; Cook, S.W. (1965). *Métodos de investigación en las Relaciones Sociales*. Madrid: Rialp.
- Shea, J. y Morgan, R. (1979). Contextual interference effects on the acquisition, retention and transfer of a motor skill. *Journal of Experimental Psychology/ Human Learning and Memory*, 5(2), 179-187.
- Sherwood, C.P.; Hinrichs, R.N.; Yamaguchi, G.T. (1997). Relationships between

- ball release velocity and 3D joint kinematics in baseball throwing. Communication au XXIème Meeting Annuel de l'*American Society of Biomechanics*.
- Sibila, M.; Stuhec, S.; Bon, M. (1999). Kinematic basis for the two different jump shot techniques in handball. In *Proceedings of 6th Sport Kinetics Conference 1999* (371–374). Ljubljana.
- Sibila, M. y Bon, M. (1999). The physiological foundations of muscle action in the handball goal shot. *European Handball*, 1, 29–36.
- Sibila, M.; Pori, P.; Bon, M. (2003). Basic kinematic differences between two types of jump shot techniques in handball. *Gymnica*, 33(1), 19-26.
- Singer, R. (1986). *El aprendizaje de las acciones motrices en el deporte*. Barcelona: Hispano Europea.
- Soto, V.M. (1995). *Desarrollo de un sistema para el análisis biomecánico tridimensional del deporte y la representación gráfica realista del cuerpo humano*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad de Granada.
- Stein, H.G. y Federhoff, E. (1975). *Handbol Técnica/Táctica/Entrenamiento*.
- Stevenson, J.M. (1985). Finger release sequence for fastball and curveball pitches. *Canadian Journal of Applied Sports Sciences*, 10 (1), 21-25.
- Stodden, D.F.; Fleisig, G.S.; Mc Lean, S.P.; Lyman, S.L.; Andrews, J.R. (2001). Relationship of pelvis and upper torso kinematics to pitched baseball velocity. *Journal of Applied Biomechanics*, 17, 164-172.
- Taborsky, F.; Tuma, M.; Zahalka, F. (1999). Characteristics of the woman's jump shot in handball. *European Handball*, 1, 24–28.
- Tarbell, T. (1970). Some Biomechanical aspects of the overhand throw. *Selected Topics on Biomechanics* (Edited by Cooper, J.M.). The Athlete Institute, Chicago.
- Tortosa, B. (1987). Análisis cinemático tridimensional de imágenes captadas por dos cámaras cinematográficas. Técnicas de transformación lineal directa. Proyecto fin de carrera. Valencia: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.
- Toyoshima, S.; Hoshikawa, T.; Miyashita, M. (1974). Contribution of the body parts to throwing performance. *Biomechanics IV*, Champaign, IL: Human Kinetics, 169-174.
- Trosse, H.D. (1993). *Balonmano. Entrenamiento, técnica y táctica*. Barcelona: Martínez Roca Deportes.
- Underwood, B.J. (1957). Interference and forgetting. *Psychological Review*, 64, 49-60.

- Van den Tillaar R. y Ettemaa G. (2000). Influence of instruction on velocity and coordination of overarm throwing in handball. *Current research in motor control*.
- Van den Tillaar R. y Ettemaa G. (2002). The proximal-distal sequence in overarm throwing and the effect of ball weight. *IVéme World Congress in Biomechanics*, Calgary.
- Van den Tillaar R., Ettemaa G. (2003a). Influence of instruction on velocity and accuracy of overarm throwing. *Perceptual and Motor Skills*, 96, 423-434.
- Van den Tillaar, R. y Ettema, G. (2003b). Instructions emphasizing velocity, accuracy, or both in performance and kinematics of overarm throwing by experienced team handball players. *Perceptual and Motor Skills* (Missoula, Mont.) 97(3 Part 1), 731-742.
- Van den Tillaar, R (2004). Effect of different training programs on the velocity of overarm throwing: a brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research* (Lawrence, Kan.) 18(2), 388-396.
- Van den Tillaar, R. y Ettema, G. (2004). Effect of body size and gender in overarm throwing performance. *European Journal Applied Physiology*, 91 (4), 413-418.
- Van Gheluwe, B.; Hebbelinck, M. (1983). The kinematics of the service movement in tennis: A three-dimensional cinematographic approach. Biomechanics IX-B, Winter D.A., Norman R.W., Wells R.P., Hayes K.C., Patla A.E., Champaign, IL: *Human Kinetics Publishers*, 521-526.
- Vaughn, R.E. (1985). Three-dimensional kinematics of the baseball pitch. *Biomechanics in Sports II*, Terauds J., Barham J.N. (eds), Del Mar, CA: Academic Publishers, 72-78.
- Vera, P. (1988). Técnicas biomecánicas para el análisis de los movimientos deportivos: estado actual y perspectivas. Humanismo y Nuevas Tecnologías en la Educación Física y el Deporte. Actas del Congreso. Madrid, 305-308.
- Viitasalo, J.T. (1988). Evaluation of explosive strength for young and adult athletes. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 59, 1, 9-13.
- Vizcaíno, F. (1978). Algunas consideraciones biomecánicas en balonmano. Análisis comparativo entre los lanzamientos en apoyo y suspensión. *Apuntes de Medicina Deportiva*, 15(57), 29-35.
- Werner, S.L.; Fleisig, G.S.; Dillman, C.J.; Andrews, J.R. (1993). Biomechanics of the elbow during baseball pitching. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 17 (6), 274-278.
- Withing, W.C.; Gregor, R.J.; Halushka, M. (1991). Body segment and release parameter contribution to new-rules in javelin throwing. *International Journal of Sport and Biomechanics*, 7, 111-124.

- Wit, A. (1998). A three-dimensional kinematic analysis of handball throws. *XVI International Symposium on Biomechanics in Sports*, Proceedings I, édité par Rielhe H.J., Vieten M.M., 281-284.
- Yamamoto, S; Sonoshita, A; Yamamoto, H. (1987). Biomechanical analysis on shooting capability of an elite Japanese junior female team handball athlete. In, Tsarouchas, L. (ed.) et al., *Biomechanics in sports V: proceedings of the Fifth International Symposium of Biomechanics in Sports*, held in 1987 at Athens, Greece, Athens, Hellenic Sports Research Institute, Olympic Sports Center of Athens, 237-242.
- Zahalka, F.; Tuma, M., y Bunz, V. (1997). 3-D Analysis of the man's and woman's jump shot in handball. In *Book of abstracts – Second annual congress of the European college of the sport science*, 360–366, Copenhagen.
- Zatsiorsky, V. y Seluyanov, V.N. (1983). The mass and inertia characteristics of the main segments of the human body. En *Biomechanics VIII-B*, (Editado por Matsui, H. y Kobayashi, K.), Human Kinetics Publisher, Champaign, 233-239.
- Zeier, U. (1987). As exigencias mínimas para a técnica do guarda-redes. *Setemetros*, 24, 29-33.
- Zvonarek, N., y Hraski, •. (1996). Kinematic basis of the jump shot. *European Handball*, 1, 17–21.
- Zernicke, R.F. y Roberts, E.M. (1976). *Human lower extremity kinetic relationships during systematic variations in resultant limb velocity*. Biomechanics V-B, Komi, P.V.(edt), Baltimore, MD: University Park Press, 1976.

ÍNDICE DE FIGURAS

1.- CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Figura 1.1.- Exposición gráfica de la estructura del presente trabajo.	21
Figura 1.2.- Estructura de las Ciencias de la Motricidad (adaptado de Gutiérrez, Oña y Santamaría, 1988).	26
Figura 1.3.- Modelo de servosistema en el movimiento humano (adaptado de Oña, 1994).	32
Figura 1.4.- Representación del modelo de control multiniveles (adaptado de Schmidt, 1988).	36
Figura 1.5.- Situaciones y puestos específicos de primera línea atacante.	40
Figura 1.6.- Estructura causal de la capacidad de juego (adaptado de Trosse, 1993).	42
Figura 1.7.- Cinematograma del lanzamiento en salto vertical (Czerwinski, 1993).	44
Figura 1.8.- Cinematograma del lanzamiento en salto hacia delante (Czerwinski, 1993).	44
Figura 1.9.- Tipos de lanzamientos (adaptado de Bárcenas, 1981).	46
Figura 1.10.- Tipos de lanzamientos (adaptado Falkowski y Enríquez, 1982). .	46
Figura 1.11.- Ejemplo de secuencia de fotogramas del lanzamiento en salto vertical en balonmano (tomado de las filmaciones realizadas para la presente tesis -Sujeto 3-).	48

Figura 1.12.- Secuencia de fotogramas y simulación de las técnicas de armado de brazo por delante y por detrás.	50
Figura 1.13.- Representación gráfica de las principales zonas de lanzamiento en balonmano.	53
Figura 1.14.- Porcentaje de goles por zonas del 1º al 6º clasificado en los Juegos Olímpicos celebrados en Atlanta en 1996 (Román, 1997).	54
Figura 1.15.- Media efectividad áreas / lanzamientos (adaptado de Román, 2001b).	56
Figura 1.16.- Porcentaje de goles por áreas (adaptado de Román, 2001b).	57
Figura 1.17.- Alturas relacionadas con la altura en la que el jugador lanza el balón.	67
Figura 1.18.- Ejemplo de evolución de velocidades lineales en el curso de un lanzamiento en balonmano (adaptado de Durocher, 2001). .	71
Figura 1.19.- Transferencia del momento angular generado en una cadena cinética de tipo secuencial (adaptado de Kreighbaum y Barthels, 1981).	73
Figura 1.20.- Representación esquemática de la cadena cinética secuencial en el miembro superior (adaptado de Gutiérrez, 1998).	74
Figura 1.21.- Factores de eficacia en la carrera previa en un lanzamiento en salto en balonmano (adaptado de Gutiérrez et al., 1992).	79
Figura 1.22.- Representaciones gráficas de los impulsos verticales de aceleración desarrollados durante un salto vertical con y sin impulso previo (adaptado de Gutiérrez, 1999).	81
Figura 1.23.- Acción de los hombros y la cadera durante la fase preparatoria del lanzamiento.	86
Figura 1.24.- Efectos compensatorios de los movimientos del jugador en vuelo, en la fase preparatoria (adaptado de Gutiérrez, Soto y Santos, 1992).	88

2.- CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Figura 2.1.- Fases del lanzamiento en béisbol (adaptado de Fleisig et al., 1996a).	115
Figura 2.2.- Principales ángulos estudiados en los lanzamientos de mano alta (adaptado de Fleisig et al., 1996a).	115
Figura 2.3.- Evolución de la cantidad de movimiento en la cadera, tronco, hombro, parte de arriba del brazo, antebrazo y mano (adaptado de Wit, 1998).	144
Figura 2.4.- Representación gráfica de la acción de las caderas y hombros en función de la trayectoria del lanzamiento (A.- Punto fuerte del lanzador; B.- Punto débil del lanzador) (adaptado de Párraga et al., 2001).	146
Figura 2.5.- a) Posición de medida de la fuerza isocinética y la rotación interna- externa del hombro, b) tres tipos de lanzamiento (A.- en apoyo; B.- con paso previo; C.- en salto vertical), c) tabla con los valores cinéticos y d) valores de la velocidad del balón (Bayios et al., 2001).	149
Figura 2.6.- a) Instrucciones sobre velocidad y precisión, b) representación del protocolo experimental indicando el panel y la distancia y c) velocidad del balón en el momento de la pérdida de contacto según determinadas instrucciones (Tillaar y Ettema, 2003a).	153
Figura 2.7.- Evolución de la velocidad lineal máxima del Hombro (V_{hombro}), Codo (V_{codo}) y Muñeca ($V_{\text{muñeca}}$) (Fradet et al. 2004).	156

3.- CAPÍTULO III: MÉTODO

Figura 3.1.- Situaciones de lanzamiento correspondientes a la Categoría A (A_1 , A_2).	168
Figura 3.2.- Situaciones de lanzamiento correspondientes a la Categoría B (B_1 , B_2 , B_3).	169
Figura 3.3. Situaciones de lanzamiento correspondientes a la Categoría C (C_1 , C_2 , C_3 , C_4).	171
Figura 3.4.- Situaciones de lanzamiento correspondientes a la Categoría D (D_1 ,	

D_2, D_3, D_4).	173
Figura 3.5.- Protocolo obtenido correspondiente a la Categoría C.	177
Figura 3.6.- Representación esquemática del diseño experimental desarrollado.	185
Figura 3.7.- Representación esquemática de las técnicas instrumentales empleadas (adaptado de Soto, 1995 y Rojas, 1997).	193
Figura 3.8.- Ubicación de las cámaras y el sistema de referencia durante la filmación.	194
Figura 3.9.- Representación del objeto de referencia utilizado para la reconstrucción tridimensional del movimiento y detalle de las crucetas utilizadas para su ensamblaje.	197
Figura 3.10.- Material tecnológico utilizado en los procesos de filmación, captura y tratamiento de los datos.	199
Figura 3.11.- Portada del software CYBORG v.3.0.	200
Figura 3.12.- Representación de la pantalla de digitalización en el programa informático CYBORG v.3.0. Estructura alámbrica del sistema jugador y balón.	202
Figura 3.13.- Representación del modelo mecánico del cuerpo humano y del implemento.	203
Figura 3.14.- Representación de la pantalla principal del programa informático DLT para el sincronizado de las imágenes planas y para el proceso de transformación lineal directa (DLT).	206
Figura 3.15.- Representación del protocolo de ejecución desarrollado.	208
Figura 3.16.- Representación de las siguientes variables de producto: ángulo de salida del balón, velocidad de salida del balón, altura de salida del balón y altura del centro de gravedad del sistema jugador más balón en el instante de la suelta.	211
Figura 3.17.- Representación de las variables relativas a las posiciones segmentarias	

(ángulos), donde a_1 , a_2 , y a_3 muestran el ángulo tronco-brazo en los tres planos sagital, frontal y transversal, respectivamente; donde b_1 , b_2 , y b_3 muestran el ángulo tronco-vertical en los tres planos sagital, frontal y transversal, respectivamente; y donde c_1 representa los ángulos de torsión de hombros y de cadera, y el ángulo de torsión del tronco, respecto de la cadera y los hombros. y el ángulo de máxima torsión del tronco. 214

Figura 3.18.- Representación gráfica de las posiciones espaciales que determinan las fases temporales que definen el gesto de lanzamiento. 218

Figura 3.19.- Representación de la variable relativa a las posición segmentaria (ángulo), donde a_1 y a_2 muestran el ángulo de máxima torsión del tronco en los planos transversal y frontal, respectivamente. 219

Figura 3.20.- Representación de las variables relativas a las velocidades desarrolladas. 221

4.- CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Figura 4.1.- Representación gráfica del porcentaje del total, en las situaciones de sin oposición y con oposición, de las variables dos pasos antes de la batida (2P) y tres pasos antes de la batida (3P). 228

Figura 4.2.- Representación gráfica del promedio en las situaciones de sin oposición y con oposición de las variables trayectoria frontal (TF), trayectoria lateral (TL), trayectoria diagonal (TD), trayectoria combinada (TC).
230

Figura 4.3.- Representación gráfica del promedio en las situaciones de sin oposición y con oposición de las variables trayectoria vertical (TV), trayectoria horizontal (TH) y trayectoria lateral (TBL). 232

Figura 4.4.- Representación gráfica del promedio en las situaciones de sin oposición y con oposición de las variables: amplitud de armado (AA) y movimientos accesorios en brazos (MAB). 234

Figura 4.5.- Representación gráfica del promedio en las situaciones de sin oposición y con oposición de las variables: máxima altura del CG (MáxH CG), máxima altura del balón (MáxH balón), altura del centro de gravedad del sistema jugador más balón en el instante de la suelta del balón (HCG salida balón), altura de salida del

balón (Hs salida balón).....	240
Figura 4.6.- Representación gráfica del promedio en las situaciones de sin oposición y con oposición de las variables ángulos: ángulo tronco-brazo en los planos sagital y frontal con respecto al sistema de referencia utilizado (\angle tronco-brazo _{sagital'} \angle tronco-brazo _{frontal}).....	245
Figura 4.7.- Representación gráfica del promedio en las situaciones de sin oposición y con oposición de las variables ángulos: ángulo tronco-vertical en los tres planos (\angle tronco-vertical _{sagital'} \angle tronco-vertical _{frontal} y \angle tronco-vertical _{transversal}).....	247
Figura 4.8.- Representación gráfica del promedio en las situaciones de sin oposición y con oposición de la variable ángulo: ángulo de torsión del tronco (\angle torsión tronco).....	247
Figura 4.9.- Representación gráfica del promedio en las situaciones de sin oposición y con oposición de las variables temporales: tiempo de impulso de frenado (T1-T2), tiempo de impulso de aceleración (T2-T3), tiempo de fase preparatoria (T4-T5), tiempo de fase de lanzamiento (T5-T6).....	251
Figura 4.10.- Representación gráfica del promedio en las situaciones de sin oposición y con oposición de las siguientes variables temporales: tiempo entre la máxima altura del CG y la suelta (TMáxHCG suelta) y el tiempo entre la máxima altura del balón y la suelta (TMáxHB suelta).....	255
Figura 4.11.- Representación gráfica del promedio en las situaciones de sin oposición y con oposición de la variable ángulo de máxima torsión del tronco (\angle máxima torsión tronco).....	259
Figura 4.12.- Representación gráfica del promedio en las situaciones de sin oposición y con oposición de las variables relacionadas con las velocidades desarrolladas por el centro de gravedad del sistema lanzador más balón (velocidad tangencial del CG al final de la carrera -VCG final carrera-, velocidad tangencial del CG al final del impulso de frenado -VCG final impulso frenado-, velocidad tangencial del CG al final de la batida -VCG final batida- y velocidad tangencial del CG en la suelta del balón -VCG suelta-).....	259
Figura 4.13.- Representación gráfica del resultado del análisis de varianza (ANOVA) de la variable oposición, sobre la variable velocidad tangencial del CG al final de la carrera (VCG final carrera).....	261

Figura 4.14.- Representación gráfica de la evolución de los valores de velocidad tangencial de la cadera (V_t cadera), sin oposición (A) y con oposición (B).	264
Figura 4.15.- Representación gráfica de la evolución de los valores de velocidad tangencial del hombro (V_t hombro), sin oposición (A) y con oposición (B).	266
Figura 4.16.- Representación gráfica de la evolución de los valores de velocidad tangencial del codo (V_t codo), sin oposición (A) y con oposición (B).	267
Figura 4.17.- Representación gráfica de la evolución de los valores de velocidad tangencial de la muñeca (V_t muñeca), sin oposición (A) y con oposición (B).	268
Figura 4.18.- Representación gráfica de la evolución de los valores de velocidad tangencial del balón (V_t balón), sin oposición (A) y con oposición (B).	270
Figura 4.19.- Representación gráfica de la evolución de las velocidades tangenciales de cadera (V_t cadera), hombro (V_t hombro), codo (V_t codo), muñeca (V_t muñeca) y balón (V_t balón) según la situación en que se han efectuado, sin oposición (A) y con oposición (B).	271

5.- CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Figura 5.1.- Representación gráfica realizada, a partir de la estructura alámbrica del sujeto 3 del estudio, de las variables siguientes: ángulo de salida del balón (α salida balón), ángulo tronco-vertical en el plano sagital (α tronco vertical _{sagital}) y ángulo tronco-brazo en el plano sagital (α tronco brazo _{sagital}).	283
Figura 5.2.- Representación gráfica de la secuencia de movimientos realizados por el sujeto 2, durante la fase final del lanzamiento (A: visión anterior y B: visión posterior).	290
Figura 5.3.- Representación gráfica de la estructura alámbrica del sujeto 6 en el instante de máxima torsión del tronco.	298

Figura 5.4.- Ejemplo de secuencia de fotogramas del lanzamiento en salto en balonmano (tomado de las filmaciones realizadas para la presente tesis -Sujeto 3-). 299

ÍNDICE DE TABLAS

1.- CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Tabla 1.1.- Clasificación de las destreza según los patrones de lanzamiento y golpes (adaptado de Kreighbaum y Barthels, 1981). 38

Tabla 1.2.- Comparativa entre los Campeonatos del Mundo celebrados en Checoslovaquia en 1990 (Antón, 1991) y los Campeonatos del Mundo de Balonmano celebrados en Portugal en 2003 (López, Párraga y Gutiérrez, 2003) y Túnez 2005, en cuanto a los porcentajes de eficacia de los lanzamientos de los equipos, a nivel global, y en puestos específicos. 52

Tabla 1.3.- Media de efectividad en áreas/lanzamientos en los VII Campeonatos del Mundo Junior de Balonmano celebrados en Galicia en 1989 (Román, 1989). 59

Tabla 1.4.- Media de efectividad en áreas/lanzamientos sobre los tres primeros clasificados en los JJ.OO. celebrados en Seúl en 1988 (Román, 1993). 59

2.- CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Tabla 2.1.- Selección en orden cronológico de las investigaciones revisadas más relevantes sobre los lanzamientos de mano alta en general y en diversas disciplinas deportivas. 100

Tabla 2.2.- Valores extremos o máximos de diferentes ángulos del miembro superior en el curso de diversos lanzamientos de mano alta (extraído de diversos estudios). 104

Tabla 2.3.- Valores extremos o máximos de diferentes ángulos del tronco y valores en el momento de la suelta en el curso de diversos lanzamientos de mano alta (extraído de diversos estudios).	104
Tabla 2.4.- Valores máximos de velocidad angular de diferentes ángulos del miembro superior y tronco (extraído de diversos estudios).	105
Tabla 2.5.- Valores máximos de velocidad lineal (extraído de diversos estudios).	105
Tabla 2.6.- Selección en orden cronológico de algunas de las investigaciones revisadas más relevantes sobre los lanzamientos en balonmano.	118
Tabla 2.7.- Valores de velocidad de salida del balón en distintos tipos de lanzamientos, según diferentes estudios (adaptado de Párraga, 1999).	121
Tabla 2.8.- Velocidades y duración del vuelo del balón en lanzamientos a portería en balonmano desde diferentes distancias, según los estudios de Pokrajac (1980).	123
Tabla 2.9.- Análisis de diferentes variables en el lanzamiento en salto (Rouard y Carré, 1987).	125
Tabla 2.10.- Valores medios de distancia al blanco (precisión) y de velocidad de salida del balón en distintos tipos de lanzamientos (adaptado de Bayios y Boudolos, 1998).	141
Tabla 2.11.- Picos de velocidad y momento en que se producen, de los distintos puntos que componen la cadena cinética (hombro, codo, muñeca y balón), en los dos tipos de lanzamientos (JS1 y JS2) (Sibila et al., 2003).	151
Tabla 2.12.- Duración del lanzamiento y velocidad del balón (Fradet et al. 2004).	155
Tabla 2.13.- Velocidad lineal máxima del Hombro (V_{hombro}), Codo (V_{codo}) y Muñeca ($V_{\text{muñeca}}$) (Fradet et al. 2004).	155
Tabla 2.14.- Instante en que se produce la máxima velocidad lineal (Fradet et al. 2004).	155
Tabla 2.15.- Máxima rotación externa del hombro e instante en que se produce (Fradet et al. 2004).	155

3.- CAPÍTULO III: MÉTODO

Tabla 3.1.- Resultados obtenidos sobre el número de veces que se repiten las cuatro categorías propuestas, donde N° S.L.S.1ª corresponde a las situaciones dadas en cada categoría que culminaron con lanzamiento en salto desde la 1ª línea atacante y % S.L.S.1ª, corresponde a dicho valor expresado en porcentaje del número total de situaciones observadas. 175

Tabla 3.2.- Comparativa de los resultados de las variables observadas más importantes en las cuatro categorías. 175

Tabla 3.3.- Características de los jugadores objeto de estudio. 183

Tabla 3.4.- Pesos de los segmentos corporales relativos al peso total del cuerpo y localizaciones del centro de gravedad (CG) segmentario (adaptado de Gutiérrez, 1999). 204

Tabla 3.5.- Relación de los factores biomecánicos objeto de estudio. 222

4.- CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Tabla 4.1.- Aspectos y variables observadas y analizadas mediante las técnicas de observación sistemática. 227

Tabla 4.2.- Estadística descriptiva e inferencial (factor oposición) de las variables relacionadas con la trayectoria seguida antes de la batida: trayectoria frontal (TF), trayectoria lateral (TL), trayectoria diagonal (TD) y trayectoria combinada (TC). 228

Tabla 4.3.- Estadística descriptiva e inferencial (factor oposición) de las siguientes variables: cambios de dirección (CD), cambios de ritmo (CR) y fintas de desplazamiento (FD). 230

Tabla 4.4.- Estadística descriptiva e inferencial (factor oposición) de las variables relacionadas con la trayectoria seguida durante de la batida: trayectoria vertical (TV), trayectoria horizontal (TH) y trayectoria lateral (TBL). 232

Tabla 4.5.- Estadística descriptiva e inferencial (factor oposición) de las variables relacionadas con las características del armado del brazo: amplitud de armado

(AA) y movimientos accesorios en brazos (MAB). 234

Tabla 4.6.- Estadística descriptiva e inferencial (factor oposición) de las variables ángulo de salida del balón (α salida balón), velocidad tangencial de salida del balón (Vs salida balón), altura de salida del balón (Hs salida balón), máxima altura del balón (MáxH balón), altura del centro de gravedad del sistema jugador más balón en el instante de la suelta del balón (HCG salida balón) y máxima altura del CG (MáxH CG). 236

Tabla 4.7.- Estadística inferencial (ANOVA de medidas repetidas), para el factor sujetos y para el factor experimental (oposición), de la variable velocidad tangencial de salida del balón (Vs salida balón). 238

Tabla 4.8.- Estadística inferencial (ANOVA de medidas repetidas), para el factor sujetos y para el factor experimental (oposición), de la variable máxima altura del CG (MáxH CG). 242

Tabla 4.9.- Estadística descriptiva e inferencial (factor oposición) de las variables relativas a las posiciones espaciales adoptadas en el momento de la suelta del balón: ángulo tronco-brazo en los planos sagital y frontal con respecto al sistema de referencia utilizado (α tronco-brazo_{sagital}, α tronco-brazo_{frontal}), ángulo tronco-vertical en los tres planos (α tronco-vertical_{sagital}, α tronco-vertical_{frontal} y α tronco-vertical_{transversal}) y el ángulo de torsión del tronco (α torsión tronco). 243

Tabla 4.10.- Estadística inferencial (ANOVA de medidas repetidas), para el factor sujetos y para el factor experimental (oposición), de la variable ángulo tronco-vertical en el plano frontal (α tronco-vertical_{frontal}). 248

Tabla 4.11.- Estadística descriptiva e inferencial (factor oposición) de las variables relativas al análisis temporal: tiempo de impulso de frenado (T1-T2), tiempo de impulso de aceleración (T2-T3), tiempo de fase preparatoria (T4-T5), tiempo de fase de lanzamiento (T5-T6), tiempo entre la máxima altura del CG y la suelta (TMáxHCG suelta) y el tiempo entre la máxima altura del balón y la suelta (TMáxHB suelta). 250

Tabla 4.12.- Estadística inferencial (ANOVA de medidas repetidas), para el factor sujetos y para el factor experimental (oposición), de la variable tiempo de la fase preparatoria (T3). 253

Tabla 4.13.- Estadística inferencial (ANOVA de medidas repetidas), para el factor sujetos y para el factor experimental (oposición), de la variable tiempo entre la

máxima altura del CG y la suelta (TMáxHCG). 256

Tabla 4.14.- Estadística descriptiva e inferencial (factor oposición) de las variables de proceso relacionadas con la posición espacial adoptada (ángulo de máxima torsión del tronco - α máxima torsión tronco-) y con las velocidades desarrolladas por el centro de gravedad del sistema lanzador más balón (velocidad tangencial del CG al final de la carrera -VCG final carrera-, velocidad tangencial del CG al final del impulso de frenado -VCG final impulso frenado-, velocidad tangencial del CG al final de la batida -VCG final batida- y velocidad tangencial del CG en la suelta del balón -VCG suelta-). 257

Tabla 4.15.- Estadística inferencial (ANOVA de medidas repetidas), para el factor sujetos y para el factor experimental (oposición), de la variable velocidad tangencial del CG en la suelta del balón (VCG suelta). 262

ANEXOS

FICHA DE OBSERVACIÓN DE PARTIDOS DE BALONMANO (LANZAMIENTOS)

• **PARTIDO:** • **COMPETICIÓN:** Cto. Del Mundo Portugal 2003

• **FECHA:** _____ • **HORA:** _____

LANZAMIENTOS EFECTUADOS: CADA JUGADOR, POR ZONAS Y RESULTADO DE LOS MISMOS															
JUGADORES	TOTAL	PRIMERA LÍNEA						7 M E T R O S	P I V O T E		E X T R E M O S		C O N T R A T A Q U E		
		En salto													
		Los demás													
				Con oposic. cerca		Con oposic. Lejos (sin oposición)									
		GOL	FALLIDO	GOL	FALLIDO	GOL	FALLIDO	GOL	FALLIDO	GOL	FALLIDO	GOL	FALLIDO	GOL	FALLIDO

Resultado del partido: -

**FICHA DE OBSERVACIÓN DE PARTIDOS DE BALONMANO
(LANZAMIENTOS EN SALTO DESDE 1ª LÍNEA)**

• **PARTIDO:** • **COMPETICIÓN:** Cto. Del Mundo Portugal 2003

• **FECHA:** _____ • **HORA:** _____

LOCALIZACIÓN TEMPORAL DEL LANZAMIENTO EN SALTO DESDE 1ª LÍNEA											
PRIMERA PARTE DEL PARTIDO						SEGUNDA PARTE DEL PARTIDO					
1	4	7	10	13	16	19	22	13	16	19	22
2	5	8	11	14	17	20	23	14	17	20	23
3	6	9	12	15	18	21	24	15	18	21	24
1	4	7	10	13	16	19	22	13	16	19	22
2	5	8	11	14	17	20	23	14	17	20	23
3	6	9	12	15	18	21	24	15	18	21	24
1	4	7	10	13	16	19	22	13	16	19	22
2	5	8	11	14	17	20	23	14	17	20	23
3	6	9	12	15	18	21	24	15	18	21	24
1	4	7	10	13	16	19	22	13	16	19	22
2	5	8	11	14	17	20	23	14	17	20	23
3	6	9	12	15	18	21	24	15	18	21	24
1	4	7	10	13	16	19	22	13	16	19	22
2	5	8	11	14	17	20	23	14	17	20	23
3	6	9	12	15	18	21	24	15	18	21	24
1	4	7	10	13	16	19	22	13	16	19	22
2	5	8	11	14	17	20	23	14	17	20	23
3	6	9	12	15	18	21	24	15	18	21	24
1	4	7	10	13	16	19	22	13	16	19	22
2	5	8	11	14	17	20	23	14	17	20	23
3	6	9	12	15	18	21	24	15	18	21	24
1	4	7	10	13	16	19	22	13	16	19	22
2	5	8	11	14	17	20	23	14	17	20	23
3	6	9	12	15	18	21	24	15	18	21	24

FICHA DE OBSERVACIÓN DEL LANZAMIENTO EN SALTO A PORTERÍA

(Marcar con una X la casilla que corresponda)

Lanzamiento: con <input type="checkbox"/> sin <input type="checkbox"/>		Observador:	SI			NO		
ACCIÓN		0	1	2	3	4	5	
Ciclo de Pasos Y Trayectoria seguida antes de la batida	2 pasos (2P)	SÍ			NO			
	3 pasos (3P)	SÍ			NO			
	Trayectoria frontal (TF)	0	1	2	3	4	5	
	Trayectoria Lateral (TL)	0	1	2	3	4	5	
	Trayectoria Diagonal (TD)	0	1	2	3	4	5	
	Trayectoria combinado (TC)	0	1	2	3	4	5	
	Hay cambio de dirección (CD)	0	1	2	3	4	5	
	Hay cambio de ritmo (CR)	0	1	2	3	4	5	
	Hay Finta de desplazamiento (FD)	0	1	2	3	4	5	
Trayectoria seguida durante la batida	Trayectoria del cuerpo en salto es vertical (TV)	0	1	2	3	4	5	
	Trayectoria del cuerpo en salto es horizontal (TH)	0	1	2	3	4	5	
	Trayectoria del cuerpo en salto es lateral (TBL)	0	1	2	3	4	5	
Armado de brazo	Amplitud de armado (AA)	0	1	2	3	4	5	
	Hace movimientos accesorios durante el armado (MAB)	0	1	2	3	4	5	

- Lista de control con opciones cerradas (sí/no).
- Escala de intensidad subjetiva con 6 niveles de respuesta (desde 0 que indica nada, ninguno, nulo/a, etc., hasta 5 que indica mucho, máximo/a o total).