

# TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN ENTRENAMIENTO Y RENDIMIENTO DEPORTIVO

Curso Académico 2016-2017

## ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL RENDIMIENTO EN EL LANZAMIENTO DE DISCO

*BIOMECHANICAL ANALYSIS OF DISCUS THROW PERFORMANCE*

Autor: **Víctor Rubio Rodríguez**

Tutor: **Juan García López**

Fecha: Septiembre 2017

Vº Bº TUTOR

Vº Bº AUTOR

---

## RESUMEN

---

El objeto del trabajo fin de máster fue elaborar una metodología de valoración biomecánica del lanzamiento de disco que se pudiera aplicar en los programas de análisis y apoyo al rendimiento de la Real Federación Española de Atletismo. Se realizó un análisis cualitativo y cuantitativo, cuyos resultados debían aparecer reflejados en un informe que debía generarse en un corto espacio de tiempo, con la información útil que necesitan los entrenadores. Se analizaron tres concentraciones con los atletas sub-20 más destacados a nivel nacional (8 hombres y 2 mujeres) y posteriormente el Campeonato de España Absoluto al aire libre de 2017, donde se analizaron a 14 lanzadores. Se realizó un análisis cinemático en 3D con dos cámaras a 120 fps, obteniendo variables cualitativas (software Kinovea v0.8.25) y cuantitativas (software Kinescan-IBV v.2001). Los primeros análisis cualitativos sirvieron a los entrenadores para orientar el trabajo de técnica, a la vez que para mejorar la metodología de análisis. A partir de la tercera concentración, y en el Campeonato de España, se implementó el análisis cuantitativo. Los registros obtenidos estuvieron en consonancia con estudios previos, y la única variable biomecánica cuantitativa que mostró correlación con la distancia de lanzamiento fue la velocidad de liberación del artefacto. Futuros trabajos deben analizar los factores de los que depende una mayor ganancia de distancia de lanzamiento respecto a la distancia teórica.

**Palabras clave:** *Biomecánica, cinemática, lanzamiento de disco.*

---

## ABSTRACT

---

The objective of the master's thesis was to develop a methodology for the biomechanical assessment of the discus throw and could applied them in the programs of analysis and performance support of the Royal Spanish Athletics Federation. A qualitative and quantitative analysis was carried out and the results were reflected in a report. This report should be generated in a short time, with the useful information needed by the coaches. Three concentrations were analyzed with the best U-20 discus throwers at national level (8 men and 2 women) and then in the National Championships 2017, were analyzed 14 throwers, all of them men. A kinematic analysis performed in 3D with two cameras at 120 fps, obtaining qualitative variables (software Kinovea v0.8.25) and quantitative (software Kinescan-IBV v.2001). The first qualitative analyzes served the coaches to guide the work of technique, as well as to improve the methodology of analysis. From the third concentration and in the National Championship, the quantitative analysis was implemented. The results were in agreement with previous studies, and only a quantitative biomechanical variable that showed correlation with the launch distance, this variable was the release velocity. In the future, should be analyze the factors, which could improve the throw distance compared with the theoretical distance.

**Key Words:** *Biomechanics, kinematics, discus throw.*

---

## ÍNDICE

---

<b>1</b>	<b>Introducción y antecedentes</b>	<b>Pág. 4</b>
1.1	Introducción	Pág. 4
1.2	Justificación del objeto de estudio	Pág. 5
1.2.1	Relación con objetivos y competencias del máster	Pág. 6
1.2.2	Contexto profesional de aplicación	Pág. 7
1.3	Lanzamiento de disco	Pág. 8
1.3.1	Evolución histórica	Pág. 8
1.3.2	Evolución técnica	Pág. 11
1.3.3	Fases del lanzamiento	Pág. 12
1.4	Factores de rendimiento en el lanzamiento de disco	Pág. 16
1.4.1	Factores de rendimiento	Pág. 16
1.4.2	Factores biomecánicos: modelo determinístico	Pág. 17
1.5	Análisis biomecánico del lanzamiento de disco	Pág. 18
1.5.1	Estudios cuantitativos	Pág. 19
1.5.2	Estudios cualitativos	Pág. 22
<b>2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Pág. 23</b>
2.1	Objetivos generales	Pág. 23
2.2	Objetivos específicos	Pág. 23
<b>3</b>	<b>Metodología</b>	<b>Pág. 23</b>
3.1	Sujetos	Pág. 23
3.2	Procedimiento	Pág. 24
3.2.1	Primera Concentración	Pág. 25
3.2.2	Segunda Concentración	Pág. 26
3.2.3	Tercera Concentración	Pág. 26
3.2.4	Campeonato de España	Pág. 27
3.3	Tratamiento de las grabaciones y elaboración de informes	Pág. 28
<b>4</b>	<b>Resultados</b>	<b>Pág. 32</b>
4.1	Primera Concentración	Pág. 32
4.2	Segunda Concentración	Pág. 33
4.3	Tercera Concentración	Pág. 34
4.4	Campeonato de España	Pág. 35
<b>5</b>	<b>Discusión</b>	<b>Pág. 38</b>
<b>6</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>Pág. 43</b>
<b>7</b>	<b>Aplicaciones prácticas y líneas futuras</b>	<b>Pág. 44</b>
<b>8</b>	<b>Valoración personal y reflexión crítica</b>	<b>Pág. 45</b>
<b>9</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>Pág. 46</b>
<b>10</b>	<b>Anexos</b>	<b>Pág. 47</b>

---

## 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

---

### 1.1 Introducción

---

En la situación actual del deporte de alto rendimiento en nuestro país, la relación entre los entrenadores y los biomecánicos no está siendo todo lo productiva que debería de ser en pro de la excelencia deportiva. Los entrenadores se esfuerzan en planificar las mejores programaciones de entrenamiento y pasan cientos de horas junto sus deportistas llevando a cabo esas sesiones de entrenamiento, pero constantemente se olvidan que existen recursos con los que optimizar y mejorar esas sesiones o planes de entrenamiento.

Esta visión viene dada por los años que pude disfrutar del deporte de alto rendimiento como atleta, a los que ahora voy sumando como entrenador. Entre ambos son ya casi 20 años, en los que he podido ver desde ambos lados de la barrera, cómo funciona esta relación tan poco “afín”.

Ahora que desde mi faceta de entrenador puedo trabajar en limar asperezas y gracias a la formación recibida en el máster, la intención no es solo incorporar estas “nuevas metodologías” de trabajo – colaboración dentro de mi sistema de entrenamiento; sino intentar que dentro de las estructuras federativas se apueste por tener también esta línea de cooperación con la biomecánica.

La idea original de este trabajo fin de máster surgió para dotar a las concentraciones del sector de lanzamientos de la selección española atletismo en sus categorías sub-20, de un apoyo biomecánico en los aspectos técnicos. Dichos aspectos técnicos tradicionalmente se vienen valorando por el “ojo experto” del entrenador, pero la cuestión es poder dotar a esos técnicos de más herramientas con las que realizar la valoración técnica y así poder optimizar más el trabajo realizado.

Dos pautas claras marcaron este proyecto en mi mente. En primer lugar, la necesidad de ser lo menos invasivo posible en el trabajo de los entrenadores; mientras en segundo lugar estaba la necesidad de obtener resultados prácticos (tanto para los entrenadores, como para los biomecánicos) y con la mayor brevedad posible. Conociendo el método de trabajo de las concentraciones, intenté plantear una intervención que fuera breve en el tiempo y que se adaptará al trabajo que tocaba en ese momento. En todas las concentraciones había trabajo técnico de lanzamiento y siempre esa última parte de la sesión se realizaba en el exterior y haciendo lanzamientos completos. Ese era mi momento.

La intención estaba clara: generar la necesidad del servicio biomecánico como apoyo al trabajo técnico programado en las concentraciones del sector de lanzamientos.

Con el trabajo de las concentraciones realizado y ya en fase de elaboración de esta memoria, surgió la oportunidad de dar servicio en el Campeonato de España absoluto al aire libre de atletismo a disputarse en Barcelona el 22 y 23 de julio. La Real Federación Española de Atletismo (en adelante RFEA) estaba desarrollando un proyecto piloto biomecánico de análisis y apoyo al rendimiento para este campeonato y buscaba quien le pudiera dar servicio en las pruebas de lanzamiento. Era la oportunidad de seguir desarrollando el modelo y poder obtener datos de los mejores lanzadores nacionales en su competición más importante de la temporada.

Los equipos de trabajo multidisciplinarios son cada vez más visibles en el deporte de alto rendimiento hoy en día, mi deporte “el atletismo” y mi pasión “los lanzamientos” no pueden ser ajenos estos avances. En estas especialidades técnicas de carácter regular y acíclicas, la valoración de lo cuantitativo cobra mayor relevancia y la biomecánica juega un papel fundamental en esa parte de la valoración, sin olvidar que a nivel cualitativo también aporta herramientas de apoyo.

*“Yo hago lo que usted no puede, y usted hace lo que yo no puedo. Juntos podemos hacer grandes cosas”* (Teresa de Calcuta).

## **1.2 Justificación del objeto de estudio**

---

La elección de trabajar con las especialidades de lanzamientos vino dada por el hecho de ser entrenador de lanzamientos y estar integrado en la estructura técnica de la RFEA; junto con la circunstancia de que en el Centro de Alto Rendimiento de León (en adelante CAR León), se venía desarrollando un programa de concentraciones del sector de lanzamientos en las categorías Sub-20 de forma periódica a lo largo de la temporada atlética; se podía tener acceso a grupo de atletas de nivel en diferentes fases de la temporada.

En el lanzamiento de disco se ejecutan complicados movimientos a una alta velocidad con una limitación del espacio, lo que hace que esta especialidad posea unas altas demandas físicas y técnicas (Bartlett, 1992; Hay y Yu, 1995; Yu y cols., 2002).

El disco fue elegido entre los cuatro lanzamientos, porque el grupo de atletas que se concentraban en esa especialidad era uno de los más numerosos y estable, de forma que aseguraba el hecho de grabar durante todos los eventos a los mismos deportistas. Se tuvieron además en cuenta otra serie de aspectos que decantaron la balanza hacia ese lanzamiento:

- El espacio de lanzamiento: el lanzamiento se realizaba en un espacio no muy amplio, dentro de un círculo de lanzamiento homologado de 2,50 m, lo que hacía que el espacio

a controlar fuera más fácil de referenciar. Por este motivo se descartó el lanzamiento de jabalina.

- La velocidad de lanzamiento: dentro de los cuatro lanzamientos es el segundo que menos velocidad de salida tiene el artefacto, motivo por el que se descartó el lanzamiento de martillo, puesto que de esta manera sería más sencillo digitalizar el artefacto.
- Situación del artefacto respecto al atleta: En el disco durante todo el lanzamiento se lleva el artefacto en la mano y esta va alejada del tronco del atleta, con lo que tendríamos con más claridad para digitalizar el artefacto que en peso, donde la bola va pegada al cuello y habría momento en los cuales se podría perder el artefacto desde alguna de las cámaras de grabación.

La biomecánica es un continuo de análisis cualitativo y cuantitativo (Knudson, 2007), por ello se buscó dar información de ambos aspectos. Los entrenadores están más habituados a trabajar con lo primero, pero buscamos que los datos cuantitativos les ayuden a interpretar lo cualitativo. El análisis cualitativo es una de las actividades profesionales más importantes de los entrenadores en la enseñanza de las diferentes habilidades motrices (Knudson and Morrison, 2002) y el trabajo técnico en las disciplinas de lanzamientos se fundamenta en esa labor cualitativa.

El material y software utilizado, se buscaba que fuera fácil acceso y no demasiado complejo, pretendiendo que la obtención e interpretación de los resultados fuera sencilla, con la mayor celeridad posible. Las cámaras de filmación ofrecían unas prestaciones correctas. En los softwares utilizados regían los mismos principios: en el caso cualitativo se trata de un software de acceso libre; mientras que en el caso cuantitativo es un software que puede parecer anticuado, pero que adapta perfectamente al objeto de nuestro estudio. La digitalización en los últimos años ha evolucionado hacia el laboratorio y la colocación de marcadores en los deportistas, mientras que el objetivo de este estudio era ver al deportista en su entorno natural de entrenamiento o competición, para lo que el análisis del movimiento en 3D es la técnica más común en el análisis biomecánico (Bermejo y cols., 2012).

### **1.2.1 Relación con objetivos y competencias del máster**

---

En primer lugar, con esta memoria se intenta plasmar muchas de las competencias adquiridas durante este año en las enseñanzas de máster recibidas.

El carácter principal de este máster es ser profesionalizante y todo lo desarrollado dentro de este trabajo fin de máster se llevó a cabo aplicando el conocimiento científico adquirido y aplicándolo en un programa federativo relacionado con el alto rendimiento deportivo, dentro de la RFEA.

Se diseñó y puso en práctica un proceso sistemático de análisis del rendimiento, en su vertiente técnica, en situaciones de entrenamiento y competición. Priorizando el trabajo de campo, sobre el laboratorio.

Se diseñaron informes de valoración técnica, fundamentados en los resultados obtenidos en el proceso de análisis; basándose en los recursos más avanzados de comunicación para intentar trasladar el mayor volumen de información posible a entrenadores y atletas.

Se elaboraron recursos audiovisuales para ayudar a los entrenadores en las sesiones de análisis técnico conjuntas con atletas.

Los resultados obtenidos fueron interpretados de forma crítica y se sacaron conclusiones, con las que hacer propuestas de trabajo a nivel técnico a los entrenadores y atletas.

El análisis técnico de entrenamientos y competición fue controlado con instrumental específico y herramientas tecnológicas lo más innovadoras que pudieran ser de aplicación.

### **1.2.2 Contexto profesional de aplicación**

---

El modelo de análisis que se ha desarrollado se haya a medio camino entre el biomecánico y el técnico - entrenador deportivo con formación superior. Es un perfil de licenciado o grado en ciencias de la actividad física, con formación federativa y experiencia en el campo del entrenamiento de esas especiales. El motivo no es otro que se juntan valoraciones de aspectos cualitativos y cuantitativos. En la actualidad dentro de la RFEA no existe esa figura, aunque si hay gente que desarrolla ese tipo de funciones, pero de forma similar a como yo las lleve a cabo para este trabajo fin de máster: ejerciendo de hombre orquesta y con la pasión a nuestro deporte como motor. A mi modo de ver, esta figura tendría hueco dentro de la estructura técnica federativa. Dentro del área del análisis y apoyo al rendimiento de nueva creación en la RFEA podría tener el desarrollo de su actividad. Desempeñaría sus funciones de acuerdo al coordinador del área, así como con el coordinador técnico del sector o prueba en cuestión y en su caso, con el entrenador o entrenadores de los atletas. Sus funciones estarían encaminadas a dar soporte científico en los entrenamientos, competición, concentraciones o cualesquiera que fueran las actividades federativas programadas, para ayudar en la optimización y mejora del rendimiento. Debería tener conocimientos en metodología del entrenamiento y análisis del rendimiento; dominar los procedimientos de valoración, cuantificación y control; capaz de elaborar informes y capacidad para valorarlos de forma crítica, así como su exposición y defensa; manejar instrumental específico y conocimiento de innovaciones tecnológicas, ...

## 1.3 Lanzamiento de disco

La prueba de lanzamiento de disco es una de las especialidades atléticas englobada dentro del grupo de lanzamientos, junto con las pruebas de peso, jabalina y martillo. Consiste en el intento, por parte del atleta, de lanzar un disco estandarizado desde el interior del círculo de lanzamiento, de un metro de radio, a la mayor distancia posible. (Hay & Yu, 1995; Yu & cols., 2002).

### 1.3.1 Evolución histórica

Los orígenes del lanzamiento de disco se remontan a la antigua Grecia. El conocido como estilo heleno de lanzamiento de disco ha quedado referenciado en muchas de las esculturas helenas que a día de hoy todavía se conservan y que tiene su mayor exponente en el discóbolo de Mirón (Fig. 1.) (siglo V a.c.).

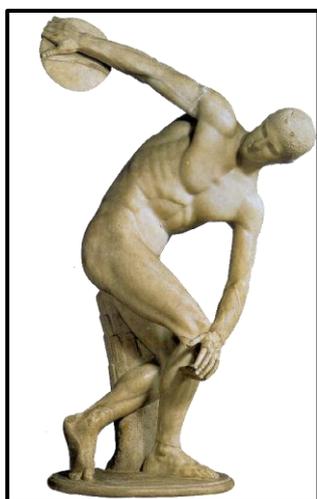


Figura. 1.1 Discóbolo de Mirónura

En la antigua Grecia, el lanzamiento de disco era la primera de las pruebas que componían el pentatlón, junto con carrera, lucha, salto y lanzamiento de jabalina. El atleta más completo se llevaba la corona de olivo y el prestigio social, puesto que una estatua en su honor era levantada en el camino que conducía al estadio.

El reglamento marcaba la ejecución técnica de lanzamiento, dado que el lanzamiento debía ejecutarse desde un pedestal y con los dos pies en el suelo, lo que obligaba a realizar el lanzamiento de parado. (Young, 2004).

El artefacto de lanzamiento en su origen era de piedra y posteriormente paso a ser de bronce. No tenía unas dimensiones reglamentarias y su peso podía variar de unos juegos a otros, pudiendo pesar desde 1kg hasta 4kg.

Las siguientes referencias históricas del lanzamiento de disco, aparecen a finales del siglo XIX, con la recuperación de los juegos olímpicos por parte del barón Pierre de Coubertín.

Con los I Juegos Olímpicos de la era moderna de 1896 en Atenas en mente, comenzaron a realizarse los primeros ensayos de lanzamiento. Se trata de realizar el lanzamiento de un disco de 2kg desde dentro de un círculo de 2,50m de radio. El primer campeón olímpico fue Robert Garret (Fig. 2.), cuando el día 6 de abril de 1896, lanzó el disco, hasta 29,15 metros.

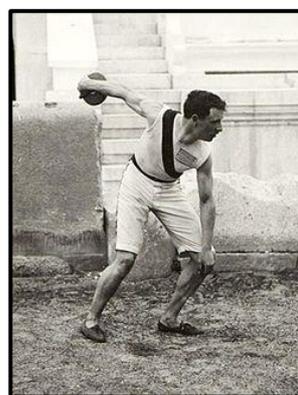


Figura 1.2. Robert Garret lanzando disco en los primeros JJOO (1896)

Durante los siguientes años la evolución fue constante y con la aparición de la IAAF (International Association of Athletics Federations) en 1912, ya se comienza a hablar del récord del mundo como se puede ver en la Tabla 1.1.

<b>Marca</b>	<b>Atleta</b>	<b>Fecha</b>	<b>Lugar</b>
47.58 m	<u>James Duncan (USA)</u>	27/05/1912	New York
47.61 m	<u>Thomas Lieb (USA)</u>	14/09/1924	Chicago
47.89 m	<u>Glenn Hartranft (USA)</u>	02/05/1925	San Francisco
48.20 m	<u>Bud Houser (USA)</u>	02/04/1926	Palo Alto
49.90 m	<u>Eric Krenz (USA)</u>	09/04/1929	Palo Alto
51.03 m	<u>Eric Krenz (USA)</u>	17/05/1930	Palo Alto
51.73 m	<u>Paul Jessup (USA)</u>	23/08/1930	Pittsburgh
52.42 m	<u>Harald Andersson (SWE)</u>	25/08/1934	Oslo
53.10 m	<u>Willy Schröder (GER)</u>	28/04/1935	Magdeburgo
53.26 m	<u>Archibald Harris (USA)</u>	20/06/1941	Palo Alto
53.34 m	<u>Adolfo Consolini (ITA)</u>	26/10/1941	Milán
54.23 m	<u>Adolfo Consolini (ITA)</u>	14/04/1946	Milán
54.93 m	<u>Bob Fitch (USA)</u>	08/06/1946	Minneapolis, Minnesota
55.33 m	<u>Adolfo Consolini (ITA)</u>	10/10/1948	Milán
56.46 m	<u>Fortune Gordien (USA)</u>	01/07/1949	Lisboa
56.97 m	<u>Fortune Gordien (USA)</u>	14/08/1949	Hämeenlinna
57.93 m	<u>Sim Iness (USA)</u>	20/06/1953	Lincoln
58.10 m	<u>Fortune Gordien (USA)</u>	11/07/1953	Pasadena
59.28 m	<u>Fortune Gordien (USA)</u>	22/08/1953	Pasadena
59.91 m	<u>Edmund Piatkowski (POL)</u>	14/06/1959	Warsaw
59.91 m	<u>Rink Babka (USA)</u>	12/08/1960	Walnut
60.56 m	<u>Jay Silvester (USA)</u>	11/08/1961	Frankfurt
60.72 m	<u>Jay Silvester (USA)</u>	20/08/1961	Bruselas
61.10 m	<u>Al Oerter (USA)</u>	18/05/1962	Los Ángeles
61.64 m	<u>Vladimir Trusenyev (USSR)</u>	04/06/1962	Leningrad
62.45 m	<u>Al Oerter (USA)</u>	01/07/1962	Chicago
62.62 m	<u>Al Oerter (USA)</u>	27/04/1963	Walnut
62.94 m	<u>Al Oerter (USA)</u>	25/04/1964	Walnut
64.55 m	<u>Ludvik Danek (TCH)</u>	02/08/1964	Turnov
65.22 m	<u>Ludvik Danek (TCH)</u>	12/10/1965	Sokolov
66.54 m	<u>Jay Silvester (USA)</u>	25/05/1968	Modesto
68.40 m	<u>Jay Silvester (USA)</u>	18/09/1968	Reno
68.40 m	<u>Ricky Bruch (SWE)</u>	05/07/1972	Estocolmo
68.48 m	<u>John van Reenen (RSA)</u>	14/03/1975	Stellenbosch
69.08 m	<u>John Powell (USA)</u>	03/05/1975	Long Beach
69.18 m	<u>Mac Wilkins (USA)</u>	24/04/1976	Walnut
69.80 m	<u>Mac Wilkins (USA)</u>	01/05/1976	San Jose
70.24 m	<u>Mac Wilkins (USA)</u>	01/05/1976	San Jose
70.86 m	<u>Mac Wilkins (USA)</u>	01/05/1976	San Jose
71.16 m	<u>Wolfgang Schmidt (GDR)</u>	09/08/1978	Berlín
71.86 m	<u>Yuriy Dumchev (USSR)</u>	29/05/1983	Moscú
74.08 m	<u>Jürgen Schult (GDR)</u>	06/06/1986	Neubrandenburgo

Tabla 1.1.-Evolución del record del mundo masculino.

La incorporación de las mujeres a esta disciplina se produjo en los Juegos Olímpicos de 1928 en Ámsterdam. La tabla 1.2 muestra la evolución constante de la disciplina.

Marca	Atleta	Fecha	Lugar
27.39 m	<u>Yvonne Tembouret (FRA)</u>	23/09/1923	Paris
27.70 m	<u>Lucie Petit (FRA)</u>	14/07/1924	Paris
28.32 m	<u>Lisette Petré (BEL)</u>	21/07/1924	Bruselas
30.22 m	<u>Lucienne Velu (FRA)</u>	14/09/1924	Paris
31.15 m	<u>Maria Vidlaková (TCH)</u>	11/10/1925	Praga
34.15 m	<u>Halina Konopacka (POL)</u>	23/05/1926	Warsaw
38.34 m	<u>Milly Reuter (GER)</u>	22/08/1926	Braunschweig
39.18 m	<u>Halina Konopacka (POL)</u>	04/09/1927	Warsaw
39.62 m	<u>Halina Konopacka (POL)</u>	31/07/1928	Amsterdam
40.34 m	<u>Jadwiga Wajs (POL)</u>	15/05/1932	Pabianice
40.39 m	<u>Jadwiga Wajs (POL)</u>	16/05/1932	Łódź
40.84 m	<u>Grete Heublein (GER)</u>	19/06/1932	Hagen
42.43 m	<u>Jadwiga Wajs (POL)</u>	19/06/1932	Łódź
43.08 m	<u>Jadwiga Wajs (POL)</u>	15/07/1933	Królewska Huta
43.79 m	<u>Jadwiga Wajs (POL)</u>	11/08/1934	Londres
44.34 m	<u>Gisela Mauermayer (GER)</u>	02/06/1935	Ulm
44.76 m	<u>Gisela Mauermayer (GER)</u>	04/06/1935	Nuremberg
45.53 m	<u>Gisela Mauermayer (GER)</u>	23/06/1935	Munich
46.10 m	<u>Gisela Mauermayer (GER)</u>	29/06/1935	Jena
47.12 m	<u>Gisela Mauermayer (GER)</u>	25/08/1935	Dresden
48.31 m	<u>Gisela Mauermayer (GER)</u>	11/07/1936	Berlín
53.25 m	<u>Nina Dumbadze (URS)</u>	08/08/1948	Moscú
53.37 m	<u>Nina Dumbadze (URS)</u>	27/05/1951	Gori
53.61 m	<u>Nina Romashkova (URS)</u>	09/08/1952	Odessa
57.04 m	<u>Nina Dumbadze (URS)</u>	18/10/1952	Tbilisi
57.15 m	<u>Tamara Press (URS)</u>	12/09/1960	Roma
57.43 m	<u>Tamara Press (URS)</u>	15/07/1961	Moscú
58.06 m	<u>Tamara Press (URS)</u>	01/09/1961	Sofía
58.98 m	<u>Tamara Press (URS)</u>	20/09/1961	Londres
59.29 m	<u>Tamara Press (URS)</u>	18/05/1963	Moscú
59.70 m	<u>Tamara Press (URS)</u>	11/08/1965	Moscú
61.26 m	<u>Liesel Westermann (FRG)</u>	05/11/1967	São Paulo
61.64 m	<u>Christine Spielberg (GDR)</u>	26/05/1968	Regis-Breitingen
62.54 m	<u>Liesel Westermann (FRG)</u>	24/07/1968	Werdohl
62.70 m	<u>Liesel Westermann (FRG)</u>	18/06/1969	Berlín
63.96 m	<u>Liesel Westermann (FRG)</u>	27/09/1969	Hamburgo
64.22 m	<u>Faina Melnik (URS)</u>	12/08/1971	Helsinki
64.88 m	<u>Faina Melnik (URS)</u>	04/09/1971	Munich
65.42 m	<u>Faina Melnik (URS)</u>	31/05/1972	Moscú
65.48 m	<u>Faina Melnik (URS)</u>	24/06/ 1972	Augsburg
66.76 m	<u>Faina Melnik (URS)</u>	04/08/ 1972	Moscú
67.32 m	<u>Argentina Menis (ROU)</u>	23/09/1972	Constanța
67.44 m	<u>Faina Melnik (URS)</u>	25/05/1973	Riga
67.58 m	<u>Faina Melnik (URS)</u>	10/07/1973	Moscú
69.48 m	<u>Faina Melnik (URS)</u>	07/09/1973	Edinburgo
69.90 m	<u>Faina Melnik (URS)</u>	27/05/1974	Praga
70.20 m	<u>Faina Melnik (URS)</u>	20/08/1975	Zurich
70.50 m	<u>Faina Melnik (URS)</u>	24/04/1976	Sochi
70.72 m	<u>Evelin Jahl (GDR)</u>	12/08/1978	Dresden
71.50 m	<u>Evelin Jahl (GDR)</u>	10/05/1980	Potsdam
71.80 m	<u>Mariya Petkova (BUL)</u>	13/07/1980	Sofía
73.26 m	<u>Galina Savinkova (URS)</u>	22/05/1983	Leselidze
73.36 m	<u>Irina Meszynski (GDR)</u>	17/08/1984	Praga
74.56 m	<u>Zdeňka Šilhavá (TCH)</u>	26/08/1984	Nitra
76.80 m	<u>Gabriele Reinsch (GDR)</u>	09/07/1988	Neubrandenburgo

Tabla 1.2.-Evolución del record del mundo femenino.

Tanto en hombres como en mujeres, los mejores registros mundiales datan de finales de los años 80 del siglo XX, en lo que sería la época dorada en muchas disciplinas atléticas, pero sobre todo en los lanzamientos. Sobre todas las marcas conseguidas en esos años está la sombra del “dopaje” sobre ellas y en la actualidad no es tan habitual ver atletas por encima de los 70m, aunque alguno ha habido. El pertenecer al primer nivel mundial se encuentra en la franja de 67m a 70m en ambas categorías.

### **1.3.2 Evolución técnica**

---

Como en toda disciplina deportiva la evolución técnica desde los orígenes hasta la actualidad ha sido muy grande.

El “el estilo heleno” que se utilizaba en los antiguos Juegos Olímpicos consistía en un lanzamiento de parado del disco desde un pedestal. Se partía de parado de espaldas a la dirección del lanzamiento y el lanzamiento se realizaba girando todo el cuerpo, pero sin perder en ningún momento el contacto de los pies con la plataforma. Este estilo reducía mucho la incorporación de variaciones técnicas.

Cuando se recuperó la prueba durante los primeros Juegos Olímpicos modernos se intentó retomar la disciplina con los valores puros del estilo heleno de lanzamiento. Durante este periodo convivió con el estilo libre, en el cual se partía de costado a la dirección del lanzamiento; el lanzamiento se efectuaba girando sobre un pie o dando un paso cruzado. Rápidamente el conocido como estilo libre se impuso. En estos primeros años de especialidad las competiciones se ejecutaban lanzamientos con ambas manos, pero finalmente se evolucionó a lanzar solo con la mano más hábil, que era la que producía un mejor rendimiento.

Ya durante los últimos años del siglo XIX se introduce el Estilo Libre de Giro, que consistía en dar una o más vueltas sobre un pie en contacto con el suelo, manteniendo el tronco erguido. Se daban diferentes posiciones de partida, pero siempre de costado a la dirección del lanzamiento, lo que obligaba a realizar un giro y un cuarto.

Los lanzadores comenzaron a introducir variantes técnicas durante todo el siglo XX y la siguiente evolución vino de la mano de Martin Sheridan que saliendo con las rodillas más flexionadas buscaba una posición más encogida, a la vez que llevar el miembro superior de lanzamiento en una posición más retrasada durante todo el recorrido. Buscaba mantener la máxima velocidad durante todo el giro y para ello intentaba mantener en todo momento un pie en contacto con el suelo.

El finlandés Armas Tápiale intentaba realizar una trayectoria ondulatoria del disco durante el desplazamiento, para aumentar el recorrido de aceleración del artefacto.

En estos primeros años del siglo XX la escuela americana se caracteriza por la búsqueda de la velocidad, mientras que la escuela finlandesa busca la potencia.

En los años 20, en Europa comienzan los lanzadores a colocarse de espaldas a la zona de lanzamiento en la posición de partida, lo que lleva a la técnica de “un giro y tres cuartos”; mientras que los americanos comienzan a introducir la fase de vuelo en el desplazamiento.

En 1953, dentro de los EE.UU. comienza a popularizarse la fase final de lanzamiento en salto, con los dos pies elevados del suelo.

Durante los años 60 y sobre la técnica de un giro y tres cuartos, tres de los grandes lanzadores de disco de la historia dan su estilo personal a esta técnica de giro:

- Alfred Oerter: buscaba llevar el miembro superior de lanzamiento muy atraso durante todo el lanzamiento y una exagerada flexión de tronco.
- Jay Silvester: Al contrario que Al Oerter, intentaba mantener el tronco en una posición lo más erguida posible, lanzando la pierna de impulso lo más alejada y estirada posible durante el giro y la fase aérea, para una vez en el doble apoyo realizar una fuerte impulsión de pierna y liberar el disco con ambos pies en el aire.
- Ludwig Danek: en el caso del checoslovaco, durante el giro intentaba una gran torsión del tronco (eje de hombros respecto de eje de caderas) mediante una rotación activa de tronco y pierna de impulso.

A partir de ese momento muchos lanzadores fueron incorporando a su técnica de lanzamiento aquellos elementos que mejor se adaptaban a sus condiciones; mientras que otros eran fieles seguidores de la técnica de lanzamiento de alguno de los precursores del lanzamiento de disco.

En los inicios la evolución técnica del lanzamiento de disco vino por los cambios reglamentarios y posteriormente por la búsqueda de una mejor técnica de lanzamiento que permita al atleta acelerar el implemento de lanzamiento de una forma óptima (Hay, 1993).

### **1.3.3 Fases del lanzamiento**

---

La técnica de lanzamiento es aquella sucesión complicada de movimientos ejecutados a una alta velocidad en un espacio limitado (Yu & cols., 2002).

El lanzamiento de disco tiene como fin último, lograr la mayor velocidad de salida del disco con unos valores óptimos de ángulo y altura de liberación. La velocidad se mejora alargando el tiempo de aceleración e incrementando la magnitud de las fuerzas ejercidas sobre el disco (Hay, 1993).

Los diferentes autores cuando han realizado análisis biomecánicos han ido clasificando la técnica de lanzamiento de disco en diferentes fases, en función del inicio y fin del movimiento. De esta forma podemos atender a la siguiente clasificación:

- Fase de Primer Apoyo Doble. Intervalo de tiempo que transcurre desde el instante que el disco alcanza su punto más atrasado después de los balanceos previos y empieza el movimiento, hasta que el pie de impulso despega del suelo.
- Fase de Primer Apoyo Simple. Intervalo de tiempo que transcurre desde el despegue del pie impulso, hasta el despegue del pie de giro.
- Fase de Vuelo. Intervalo de tiempo en que los pies del lanzador no tienen contacto con el suelo.
- Fase de Segundo Apoyo Simple. Intervalo de tiempo que transcurre desde el apoyo del pie de impulso después del vuelo, hasta el apoyo del pie de bloqueo.
- Fase de Segundo Apoyo Doble. Intervalo de tiempo que transcurre desde el apoyo del pie de bloqueo hasta que la mano del lanzador libera el disco.

A estas fases se deben añadir otros aspectos técnicos que también existen en el lanzamiento de disco y que son importantes para los entrenadores, como son la posición previa de salida, los balanceos preliminares y la recuperación tras la liberación del artefacto (Hay, 1993).

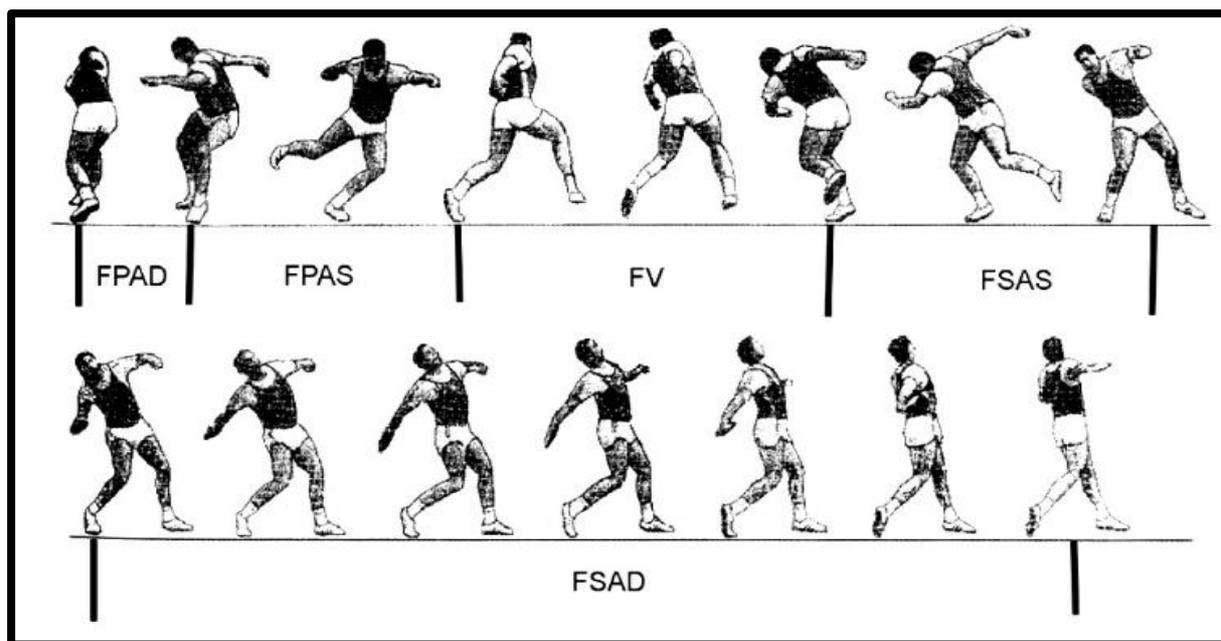


Figura 1.3. Secuenciación del lanzamiento de disco. Se han marcado la Fase de Primer Apoyo Doble (FPAD), Fase de Primer Apoyo Simple (FPAS), Fase de Vuelo (FV), Fase de Segundo Apoyo Simple (FSAS) y la Fase de Segundo Apoyo Doble (FSAD) (Adaptado Bidault, 1998) (Floria & cols. 2006).

Veamos con más en detalle cuales son las fases de lanzamiento y los criterios técnicos más destacados en cada una de esas fases, desde el punto de vista técnico.

Los criterios técnicos recogidos en la literatura son un compendio de aquellos puntos que se admiten como válidos y genéricos por los entrenadores.

- Posición inicial o previa a la salida



Figura 1.4. Posición inicial.

Posición dorsal a la zona de lanzamiento. Posición erguida, con apoyo de los pies, algo más ancho que los hombros.

Balaceo hacía atrás del brazo lanzador, con torsión entre el eje de hombros sobre el de caderas.

Línea de hombros y línea de caderas paralela al suelo.

Brazo de lanzamiento a la altura del hombro lanzador.

Pie de impulso con toda la planta en el suelo; pie de giro sobre metatarso.

- Fase de primer apoyo doble



Figura 1.5. Fase primer apoyo doble.

El peso del cuerpo se traslada sobre la pierna de giro, con flexión de la misma, manteniendo contacto el pie de impulso.

Eje de giro = Pie, rodilla, hombro y brazo. Gira hasta zona de lanzamiento. Apoyo sobre metatarso del pie de giro.

Disco detrás del cuerpo a la altura del hombro, con el brazo estirado.

- Fase de primer apoyo simple o salida / toma de impulso



Figura 1.6. Fase primer apoyo simple.

Equilibrio sobre eje de giro.

Vista, brazo libre y pie de giro apuntando a la zona de lanzamiento.

Disco detrás del cuerpo, levemente por encima de la cadera.

Rodilla/pierna derecha se abren y toman impulso en movimiento semicircular.

- Fase de vuelo o desplazamiento



Figura 1.7. Fase de vuelo.

La pierna de impulso avanza en dirección al lanzamiento, tirando también de la rodilla.

El pie de impulso activo en fase aérea, trabaja con la intención de adelantar a la cadera de impulso.

La pierna de giro aguanta en semi - extensión.

Torsión entre eje de caderas y eje de hombros.

Disco ligeramente por encima de la línea de caderas, con trayectoria a punto alto.

- Fase de vuelo o desplazamiento, aterrizaje



Figura 1.8 Fase de vuelo. Aterrizaje.

El aterrizaje debe ser activo con el pie de impulso sobre el metatarso.

Peso corporal sobre pierna de impulso.

Torsión entre eje de caderas y hombros, eje de hombros de espaldas a la zona de lanzamiento.

Ligera inclinación del tronco.

Disco a la altura de los hombros y brazo libre extendido.

Pierna libre, avanza buscando el suelo en trayectoria circular.

- Fase de segundo apoyo doble



Figura 1.9. Fase segundo doble apoyo.

El peso del cuerpo sobre la pierna impulso y transición del mismo hacia la pierna de bloqueo.

Acción de giro de pie, rodilla, pierna y cadera de impulso.

Apertura de brazo libre y acción de soporte sobre pierna de bloqueo.



Figura 1.9. Fase segundo doble apoyo.

- Fase de recuperación

Una vez que el disco ha sido liberado se trata de recuperar una posición de equilibrio en la que atleta consiga mantenerse dentro del círculo de lanzamiento.

Disco y brazo de lanzamiento en posición contraria a la zona de lanzamiento.

A continuación, la pierna de impulso gira en dirección a la zona de lanzamiento.

Acción de soporte de la pierna, tronco y brazo de bloqueo.

Avance del hombro y brazo lanzador, hasta que ejes de caderas y hombros se igualan.

Brazo lanzador avanza hasta que se produzca la liberación del disco a la altura de los hombros.



Figura 1.10. Fase de recuperación.

## **1.4 Factores de rendimiento en el lanzamiento de disco**

El rendimiento en la disciplina atlética de lanzamiento de disco depende de varios factores (entrenamiento, psicológicos, fisiológicos, etc.), siendo los biomecánicos bastante determinantes, en tanto que se cataloga como una de las disciplinas muy dependientes de la técnica, siendo objeto de la biomecánica el análisis de la misma.

### **1.4.1 Factores de rendimiento**

Los factores de rendimiento que son de aplicación en el lanzamiento de disco los veremos de forma esquemática, para posteriormente desarrollar más ampliamente aquellos en los cuales se centra este trabajo, los relacionados con los factores técnicos abordados desde el punto de vista biomecánico.

En primer lugar, nos encontramos con los factores anatómicos – fisiológicos. Son los que hacen referencia a las características propias de cada sujeto: edad, antropometría, constitutivas, estado de salud, nivel de entrenamiento/experiencia, ...

Se han de tener en cuenta los factores relacionados con la condición física o el entrenamiento. Entre ellos podemos encontrar la fuerza, velocidad, resistencia y flexibilidad, así como el resto de condicionantes resultantes de la integración de estos factores.

Los factores de tipo técnico también están presentes y tienen una vital importancia. La destreza motriz y la capacidad coordinativa son la base para la adquisición de un buen patrón del movimiento deportivo en cuestión.

La importancia de los factores tácticos, no es tan relevante en una disciplina como el lanzamiento de disco, pero siempre existirán ciertas variables de este tipo, sobre todo a la hora de afrontar la competición.

Las características psíquicas de los atletas son factores que rendimiento dentro de esta especialidad. La capacidad de aprendizaje, la memoria, imaginación, ...; deben estar muy presentes en el proceso de enseñanza aprendizaje del gesto deportivo.

No hay que olvidarse de los factores volitivos que están muy relacionados con lo que hemos visto anteriormente. El carácter de los atletas, su motivación hacia el proceso de entrenamiento, la actitud o la voluntad que tienen hacia esta especialidad son determinantes en el rendimiento a conseguir.

El rendimiento deportivo también viene marcado por todos los factores externos que rodean al deportista en su día a día. Las instalaciones y materiales de los que dispone, el entornos familiar y social que rodea al atleta, los servicios de apoyo con los que cuenta, la meteorología en la que sus entrenamientos se desarrollan; y así un largo etcétera.

Todos estos factores vienen clasificados y definidos en varias publicaciones, en este caso nos hemos basado en lo publicado por Morante & Coque (Morante & Coque, 1996).

#### **1.4.2 Factores biomecánicos: modelo determinístico**

---

Los padres del modelo determinístico son Hay & Reid y el modelo consiste en un paradigma que determina las relaciones entre una medida movimiento deportivo y los factores biomecánicos que producen tal medida (Hay & Reid, 1988) (Chow & Knudson, 2011).

Se trata de una estructura jerarquizada en la cual se ordenan las variables biomecánicas que determinan el resultado final del movimiento. En la parte de arriba de este modelo se encuentra el principal propósito mecánico del movimiento o resultado final, que sería el criterio de eficacia máximo. A partir de esta cúspide se van identificando en un nivel inferior todas aquellas variables biomecánicas, que de forma directa tienen influencia sobre el resultado final o la variable superior en el esquema. A su vez, cada una de estas nuevas variables, tendrán su propio nivel inferior en el que aparecerán variables determinantes de

cada una de ellas. En el lanzamiento de disco el modelo determinístico propuesto lo podemos observar en la Figura 1.11. (Ferro & Floria, 2007) (Chow & Knudson, 2011).

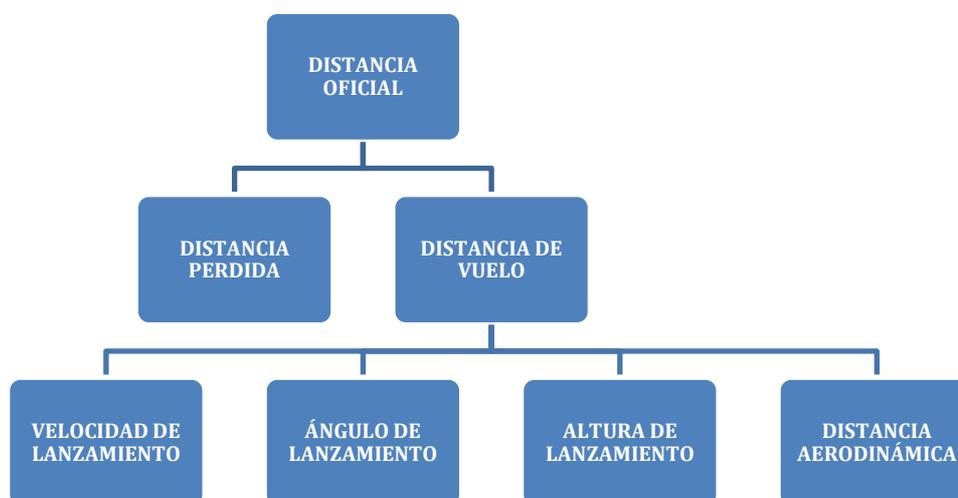


Figura 1.11. Modelo determinístico para el lanzamiento de disco adaptado de Hay y Yu, 1995 (Chow & Knudson, 2011)

Atendiendo a este modelo, que el que ha guiado la mayor parte de las investigaciones relevantes de la literatura sobre el lanzamiento de disco, podemos sacar la conclusión de que la variable más determinante de la distancia de lanzamiento es, sin duda, la velocidad de liberación del disco (Bartlett, 1992; Hay y Yu, 1995; Yu y cols., 2002; Ferro y cols., 2004). Esto refuerza la idea que tienen los entrenadores en sus entrenamientos, donde su principal objetivo es aumentar el valor de esta variable tan determinante, como objetivo fundamental.

### **1.5 Análisis biomecánico del lanzamiento de disco**

El estudio de los aspectos biológicos y mecánicos del movimiento está analizado desde dos enfoques: cuantitativo y cualitativo (Kreighbaum & Barthels, 1999).

El enfoque cuantitativo es aquel en que se describe el movimiento del cuerpo o sus partes en términos numéricos. Esta cuantificación del movimiento elimina la descripción subjetiva del mismo. Los números describen la situación física, pero luego el observador tiene que utilizar esos valores para describir la escena de movimiento. El aparataje utilizado para este análisis suele tener un coste elevado, es difícil de trasladar al campo de entrenamiento y a la competición y la consecución de resultados lleva su tiempo (Kreighbaum & Barthels, 1999).

El análisis biomecánico cualitativo es considerado como un método de examen del movimiento humano desde una aproximación sistemática (Knudson & Morris, 2002). Este enfoque cualitativo se fundamenta en la explicación del movimiento del cuerpo o sus partes desde términos no numéricos, con valoraciones subjetivas de los entrenadores. Las impresiones alcanzadas en el método cualitativo deben de apoyarse en datos cuantitativos

para tener una mayor fundamentación. Es un método de análisis más sencillo de llevar a la acción, pero debe obedecer a una planificación previa. Esa planificación o programación buscan reconocer aquellos aspectos críticos de la habilidad técnica, que marcan la buena competencia motriz en esa habilidad (Kreighbaum & Barthels, 1999).

En el trabajo diario del entrenamiento deportivo lleva la delantera el análisis cualitativo, basado en la observación y en la memoria del patrón de movimiento por parte del técnico; pero ambos métodos son aplicables y el llevarlos a cabo de forma conjunta hará que las mejoras sean visibles hacia ambos lados, en beneficio del deportista.

### **1.5.1 Estudios cuantitativos**

---

En el momento en que para el análisis del movimiento se quiere ir un paso más allá y obtener una información más precisa del mismo, se hace necesaria la aparición de instrumentos de medición – valoración. Justo en ese estadio en el cual el ojo humano ya no puede aportar más información sobre el movimiento, es cuando un nuevo enfoque puede entrar en acción. Esto no lleva a al estudio cuantitativo del movimiento (Kreighbaum & Barthels, 1999). Existen tres tipos de estudios cuantitativos: descriptivo, experimental y teórico. Aprovechando un poco de cada uno se puede crear un conjunto que sea aplicable en el entrenamiento de campo de los deportistas. La información obtenida en los estudios descriptivos y experimentales, junto con la información teórica del movimiento, pueden crear un modelo teórico predictivo que ayude a los entrenadores y los deportistas.

El acercamiento biomecánico al lanzamiento de disco, según la literatura existente se ha producido en varios frentes, pero siempre guiado por el modelo determinístico (Figura 1.11.) asociado a este lanzamiento, el cual nos indica que los factores de rendimiento determinares de la distancia de lanzamiento son la velocidad, ángulo y altura de lanzamiento. Por ello, mucha información de la existente se centra en los parámetros que se producen en el momento de liberación del artefacto (Figura 1.12). (Yu & cols., 2002; Floria 2006; Floria & Ferro, 2006; Leigh & cols., 2008).

Las variables más importantes en el momento de la liberación del artefacto son:

- Velocidad de liberación: Módulo del vector velocidad medido en el instante de liberación del disco, resultante de las componentes X, Y y Z de la velocidad.
- Angulo de liberación: definido como el ángulo entre el vector velocidad y la horizontal en el instante de liberación.
- Altura de liberación: Coordenada en el eje Y del disco, en el instante de liberación medida desde el suelo.
- Distancia oficial: Coordenada en el eje X del disco, medida desde el borde interior del círculo de lanzamiento hasta la marca que deja el disco tras el aterrizaje.

- Distancia perdida: Coordenada en el eje X del disco en el momento de liberación, medida hasta el borde interior de la parte anterior del círculo.
- Distancia teórica balística: Distancia calculada a partir de las ecuaciones del tiro parabólico.
- Distancia aerodinámica: Diferencia entre la distancia teórica balística y la distancia oficial de lanzamiento.

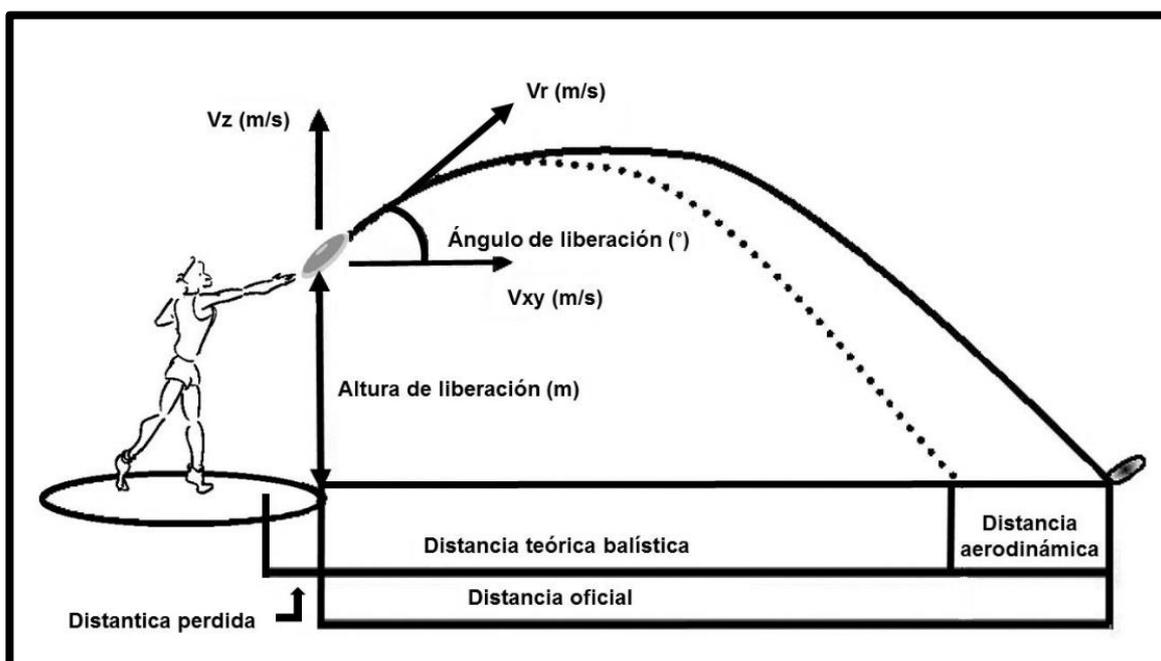


Figura 1.12. Variables de liberación y distancias en lanzamiento del disco, Adaptado de Floria 2006. (Elaboración propia).

En la Tabla 1.3. Floria nos muestra los valores de todos estos parámetros que se pueden encontrar en la bibliografía hasta el momento de su publicación (Floria 2006) y son un reflejo de los valores en los que se mueven estas variables.

Autores	n	Sexo	d <sub>0</sub> (m)	V <sub>DISCOIB</sub> (m/s)	h <sub>DISCOIB</sub> (m)	θ <sub>DISCOIB</sub> (°)	Autores	n	Sexo	d <sub>0</sub> (m)	V <sub>DISCOIB</sub> (m/s)	h <sub>DISCOIB</sub> (m)	θ <sub>DISCOIB</sub> (°)
Terauds, 1978	10	♂	61.57 SD 5.67	24.71 SD 1.46	1.67 SD 0.29	36.6 SD 2.1	Knicker, 1992	9	♂	63.76 SD 3.07	24.6 SD 0.7		34.9 SD 5.2
Gregor y cols. 1985	9	♂	65.59 SD 0.71	24.8 SD 0.4	1.73 SD 0.14	35.6 SD 2.0	Knicker, 1994a, 1994b	8	♂	64.31 SD 2.44	25.6 SD 1.1	1.8 SD 0.2	36.2 SD 2.6
	9	♀	63.50 SD 1.40	25.0 SD 0.7	1.48 SD 0.17	34.6 SD 1.6		8	♀	63.52 SD 2.57	23.7 SD 0.7	1.6 SD 0.1	36.6 SD 2.3
McCoy y cols. 1985	46	♂	62.59 SD 2.68	25.8 SD 0.9	1.90 SD 0.25	35.6 SD 2.1	Hay y Yu, 1995a, 1995b, 1996	14	♂	59.07 SD 4.43	23.80 SD 0.99	1.65 SD 0.17	36.1 SD 2.6
	21	♀	56.65 SD 2.99	24.5 SD 0.9	1.51 SD 0.12	33.7 SD 2.8		15	♀	57.90 SD 7.51	23.22 SD 1.49	1.51 SD 0.17	36.3 SD 3.8
Stepanek, 1986	2	♂	63.77 SD 4.48	24.45 SD 1.34	1.65 SD 0.01	35.5 SD 0.7	Silvester y McCoy, 1995	9	J♂	49.53 SD 5.75	21.03 SD 1.52	1.59 SD 0.17	35.4 SD 2.9
	2	♀	67.00 SD 2.25	24.7 SD 0.00	1.55 SD 0.03	37.5 SD 0.7		17	♂	62.48 SD 2.68	24.23 SD 1.00	1.73 SD 0.14	37.2 SD 3.3
Susanka y cols. 1988	8	♂	65.96 SD 1.40		1.42 SD 0.17		Dapena y Anderst, 1997	26	♂	58.44 SD 2.98	23.6 SD 0.6	1.71 SD 0.11	35 SD 3
	10	♀	67.00 SD 2.25		1.29 SD 0.17	38.2 SD 2.3	Dapena y cols. 1997	17	♀	56.16 SD 4.00	22.8 SD 0.9	1.57 SD 0.15	35 SD 2
Knicker, 1990	30	♂	63.23 SD 2.16	22.8 – 26.0			Knicker, 1999	47	♂	63.37 SD 2.43	24.1 SD 1.1		33.9 SD 3.5
Lindsay, 1991 (citado por Bartlett, 1992)	7	♂	51.93 SD 3.86	23.0 SD 1.8		36 SD 3	Xie, 2000	2	♂	56.37 SD 3.4			
	4	♀	50.55 SD 3.38	23.2 SD 0.3		33.4 SD 3.2							

Tabla 1.3. Muestra, distancia oficial, velocidad, altura y ángulo de liberación de los estudios más relevantes seleccionados de la bibliografía. (Floria, 2006).

La fase en la que el disco está en el aire también ha sido tratada en la literatura se conoce como la aerodinámica del disco (Figura 1.13) (Floria & Ferro, 2006; Hubbard & Cheng, 2007; Leigh & cols., 2010 Yu & cols., 2010). No es un parámetro que sea tan determinante y es más complejo incidir sobre la fase de vuelo con el entrenamiento, puesto que depende más de las condiciones externas, que de la propia ejecución técnica del lanzador. Los ángulos sobre los que trata la bibliografía son (Floria, 2006):

- Ángulo de liberación ( $\theta$ ), definido como el ángulo entre el vector velocidad y la horizontal en el instante de liberación.
- Ángulo de inclinación ( $\Phi$ ), definido por el eje longitudinal del disco respecto a la horizontal en el instante de liberación.
- Ángulo de ataque ( $\gamma$ ), definido por el ángulo entre el eje longitudinal del disco y el módulo del vector de velocidad del disco en el momento de la suelta.
- Ángulo de basculación ("roll"), definido por el ángulo entre el eje longitudinal del disco y el plano transversal del disco.

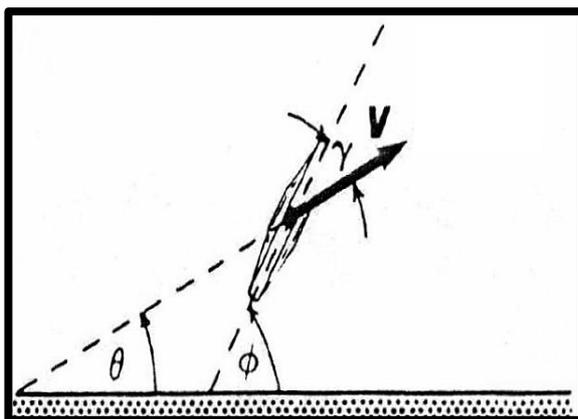


Figura 1.13. Ángulos estudiados en el instante de liberación del disco: ángulo de liberación ( $\theta$ ), ángulo de inclinación ( $\Phi$ ), ángulo de ataque ( $\gamma$ ) y vector de velocidad resultante del disco ( $V$ ). Adaptado de Hay (1993) (Floria, 2006).

Finalmente, el tercero de los acercamientos biomecánicos a nivel cuantitativo que se ha producido hace referencia a un análisis temporal y de la posición de los diferentes segmentos corporales en las diferentes fases del lanzamiento (Floria, 2006; Ferro & Floria, 2007; Panoutsakopoulos, 2008; Panoutsakopoulos & Kollias, 2012). Cada uno de los estudios, da valores temporales en función de la división de las fases del lanzamiento que se realizan. Un ejemplo de secuenciación de la técnica de lanzamiento de disco se ha podido ya ver en la Figura 1.3.

## 1.5.2 Estudios cualitativos

La mayoría de los profesionales del deporte utilizan mucho más en su día a día el análisis cualitativo del movimiento sobre el análisis cuantitativo. Tradicionalmente se ha venido utilizando el sistema de detección de errores y corrección instantánea del mismo, que se basa en tener una imagen mental del movimiento correcto y realizar la corrección sobre ese patrón mental (Knudson & Morrison 2002).

Knudson nos incita que se debe tener una visión más comprensiva del análisis cualitativo, para poder aplicar de forma correcta los principios biomecánicos a esta valoración cualitativa de los movimientos. Y para ello nos propone el simple modelo de cuatro etapas (Figura 1.14): Preparación, observación, evaluación / diagnóstico e intervención (Knudson, 2007).

En la preparación, el técnico con sus conocimientos cinesiología sobre el movimiento técnico, selecciona una estrategia observacional, para poder en marcha en la siguiente fase.

En la tarea de observación, el entrenador pone en marcha la estrategia marcada para reunir la información sensorial relevante del movimiento ejecutado.

La tercera fase se divide en dos partes. En la evaluación se identifican las fortalezas y debilidades del movimiento realizado; mientras que en el diagnóstico se trata de priorizar las intervenciones sobre aquellos aspectos que realmente causan la ejecución del error técnico, sobre otros detalles del movimiento que pueden tener menor importancia.

Finalmente, en la intervención es el momento en el cual el entrenador lleva a cabo aquellas correcciones que cree convenientes para conducir al atleta a una correcta ejecución técnica del movimiento. Una vez realizada la indicación técnica, el entrenador debe de volver a la fase de observación para continuar con el proceso de aprendizaje técnico.



Figura 1.14. Modelo de cuatro etapas en el análisis cualitativo (Adaptado Knudson & Morrison 2002).

---

## **2. OBJETIVOS**

---

### **2.1 Objetivos generales**

---

Elaborar un método de valoración biomecánica del lanzamiento de disco, que sea de aplicación en los programas de análisis y apoyo al rendimiento de la RFEA.

Identificar las variables biomecánicas más influyentes en la eficacia del lanzamiento de disco y establecer su relación con los aspectos cualitativos de la técnica.

### **2.2 Objetivos específicos**

---

Desarrollar una metodología de análisis cinemático tridimensional, a partir de grabaciones en alta velocidad a través de técnicas de fotogrametría.

Programar e implementar una metodología de análisis sencilla y no invasiva, así como un análisis de resultados que busque la prontitud en la entrega de informes a entrenadores y deportistas.

Generar informes que aúnen resultados cuantitativos y cualitativos, a través de los últimos recursos de transmisión de la información.

Controlar las evoluciones técnicas de los lanzadores a lo largo de un periodo de tiempo determinado.

Identificar valores que puedan describir un modelo técnico de lanzamiento común.

Analizar la técnica de lanzamiento de los mejores lanzadores nacionales en su campeonato de España.

Recopilar datos que sirvan para tener valores de referencia en función de su nivel deportivo y categoría de edad.

Vincular el entrenamiento técnico deportivo de campo y la biomecánica, para generar una línea de trabajo conjunta y profundizar en el análisis de la técnica de lanzamiento.

---

## **3. METODOLOGÍA**

---

### **3.1 Sujetos**

---

En las tres Concentraciones fueron analizados 8 lanzadores sub-20, especialistas en el lanzamiento de disco, siendo los atletas más destacados en sus categorías. La edad media de los participantes fue de  $16,71 \pm 0,75$  años. Su peso era de  $88 \pm 5,79$  kg y su talla  $1,89 \pm 0,05$  m. En cuanto a los años de experiencia teníamos una media de  $4,14 \pm 1,34$  años, mientras que sus marcas personales de lanzamiento eran  $53,86 \pm 4,53$  m. También fueron analizadas 2 lanzadoras sub-20, especialistas en disco y con el mismo nivel deportivo de los hombres. La edad media de las participantes fue de  $16,50 \pm 0,71$  años. Su peso era de  $68 \pm 2,83$  kg y su talla  $1,71 \pm 0,05$  m. En cuanto a los años de experiencia teníamos una media de  $3,50 \pm 0,71$  años, mientras que sus marcas personales de lanzamiento eran  $39 \pm 0,11$ m.

En el Campeonato de España fueron analizados 14 lanzadores. Todos eran atletas de nivel nacional hacia arriba; entre ellos había 5 atletas que han sido internacionales en categoría absoluta y otros 4 que han sido internacionales en categorías menores. La edad media de los participantes fue de  $28,36 \pm 6,66$  años. En cuanto a los años de experiencia teníamos una media de  $12,79 \pm 6,96$  años, mientras que sus marcas personales de lanzamiento eran  $58,85 \pm 5,68$  m.

### 3.2 Procedimiento

Se analizaron un total de tres concentraciones de la Selección Española Sub-20 del sector de lanzamientos que se llevaron a cabo en el Centro de Alto Rendimiento de León (4 al 6/11/2016, 2 al 4/12/2016 y 24 al 26/03/2017) y el Campeonato de España Absoluto al aire libre celebrado en Barcelona el 22 y 23 de julio de 2017.

En todos estos eventos se filmó con dos cámaras de alta velocidad (Casio Exilim EXFH25 a 120 fps y 640x480 píxels), colocadas en el plano frontal (zona posterior de la dirección del lanzamiento) y sagital (zona lateral derecha para todos los lanzadores). En las dos primeras concentraciones se grabó a los atletas desde la plataforma de lanzamientos que estaban utilizando para sus sesiones de entrenamiento técnico. En la tercera concentración los lanzadores lanzaron desde un círculo homologado, al igual que ocurrió en el campeonato de España, donde se grabó a los atletas lanzando desde dentro del círculo de competición. En los cuatro eventos el espacio de lanzamiento que había sido calibrado con un sistema de referencia de 2x2x2 m (Figura 3.1).

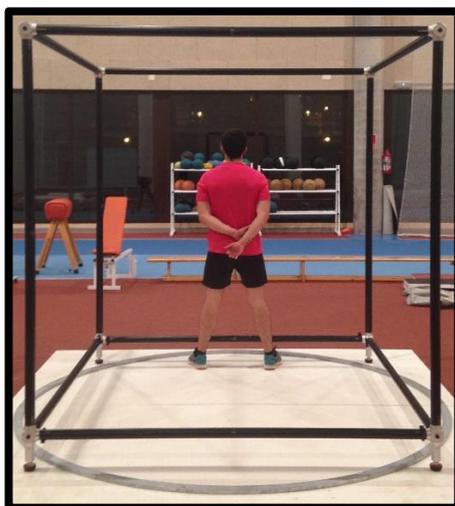


Figura 3.1. Sistema de referencia 2x2x2 m utilizado.

Con anterioridad a cada una de las sesiones de grabación, realizaba tareas de preparación de todo el material necesario para llevar a cabo el procedimiento:

- Preparación de las cámaras de grabación. Tener las baterías cargadas, que las tarjetas de memoria SD tuvieran espacio suficiente para llevar a cabo la sesión de filmación, comprobar que los trípodes funcionaban correctamente y la zapata para la cámara estaba en ellos, montar el disparador remoto y comprobar su funcionamiento.
- Recopilar información sobre los sujetos a estudiar para preparar hojas de registro en las que anotar aquellos datos que fueran necesarios.
- Preparación del sistema de referencia 2x2x2 m. El cubo era una estructura de 12 tubos y 8 nudos, que antes de cada sesión de grabación debía de montar.
- Colocación del sistema de referencia en el espacio de lanzamiento y posicionamiento de trípodes y cámaras, con el objetivo de centrar la imagen a la escena concreta de filmación.

Con todo preparado comenzaba el registro de imágenes. Primero se hacía la grabación del sistema de referencia, para luego poder digitalizar el espacio en Kinescan-IBV (v.2001). Luego se esperaba a que los atletas realizaran los lanzamientos que queríamos registrar y se procedía a su grabación. En caso de haber registrado las marcas de lanzamiento se realizaba la medición de las mismas y se recogía todo el material. Finalmente se preparaban las grabaciones para su posterior tratamiento, comenzando por recortar a grosso modo la escena de lanzamiento en la propia cámara y a continuación el volcado de los archivos a un ordenador. Se nombraban y ordenaban todos los archivos (atleta, intento, marca conseguida y cámara de grabación), así como asegurarse de que el archivo tenía el formato de video adecuado, para ser tratado por los softwares Kinovea (v0.8.25) o Kinescan-IBV (v.2001).

### **3.2.1 Primera Concentración**

---

En una de las sesiones técnicas de la concentración, se grabaron los dos últimos lanzamientos completos efectuados por los lanzadores de lanzamiento de disco. Los lanzamientos se ejecutaron desde la misma plataforma de lanzamientos que estaban utilizando para realizar su sesión de entrenamiento técnico. Con anterioridad al inicio de la sesión técnica de lanzamientos, habían sido colocadas las cámaras y el sistema de referencia en el mismo espacio en el que luego los atletas iban a entrenar. El sistema de referencia se colocó centrado a la zona de lanzamiento del atleta o lo que sería centrado al círculo de lanzamiento (figura 3.2). Se filmó el sistema de referencia (imágenes necesarias para la construir posteriormente la escena de calibración) y se retiró el cubo dejando las cámaras colocadas. Los atletas realizaron su sesión de entrenamiento y cuando iban a ejecutar la última ronda de lanzamientos, se les grabaron esos dos lanzamientos.



Figura 3.2. Esquema colocación cámaras de filmación y sistema de referencia.

### 3.2.2 Segunda Concentración

En la Segunda Concentración, el registro de imágenes fue similar al de la primera concentración. Durante una de las sesiones de trabajo técnico, sistema de referencia y cámaras fueron colocadas con anterioridad a que los atletas llegaran a la zona de lanzamiento para realizar su sesión de entrenamiento y se realizó la grabación del sistema de referencia. Se desmontó el sistema de referencia, dejando las cámaras colocadas y los lanzadores llevaron a cabo su sesión de entrenamiento. Al llegar al final de la sesión técnica, se grabaron los dos últimos lanzamientos completos de cada uno de los atletas. Además de grabar los lanzamientos, se marcó la caída del lanzamiento más largo de cada atleta, para posteriormente llevar a cabo la medición de la distancia de lanzamiento en ese mejor tiro.

### 3.2.3 Tercera Concentración

En la Tercera Concentración el procedimiento de registro siguió siendo similar y se continuó mejorándolo. Esta concentración ya se encuadraba en un periodo de entrenamiento más cercano al ciclo de competiciones en atletismo, con lo que los lanzadores llevaron a cabo la sesión de entrenamiento técnico dentro del círculo de lanzamiento. El sistema de referencia ya no se colocó centrado al círculo en sí, sino centrado a la zona donde los lanzadores efectuaban el lanzamiento en su fase final o doble apoyo (Figura 3.3). Del mismo modo, se buscaba grabar a los atletas dentro del espacio en el que luego van a realizar sus competiciones dado que para una de las nuevas variables que queríamos analizar era necesario tener el borde anterior del círculo de lanzamiento. Como otras veces, se situó el sistema de referencia y las cámaras, así como realizar la grabación del sistema de referencia antes de que los atletas comenzarán su sesión de entrenamiento.



Figura 3.3. Sistema de referencia 2x2x2 m utilizado en la tercera concentración.

El registro de imágenes se llevó a cabo en la última tanda de lanzamientos de los atletas dentro de la sesión técnica. En esta ocasión se filmaron tres lanzamientos de cada sujeto. En cada uno de los lanzamientos se marcaba el lugar de caída del disco, para posteriormente realizar la medición de la distancia de lanzamiento en cada intento.

### 3.2.4 Campeonato de España Absoluto al aire libre

En el campeonato de España Absoluto al aire libre se registraron de forma completa las competiciones de disco masculino y femenino. El procedimiento metodológico para llevar a cabo las grabaciones fue similar al que se había desarrollado durante las concentraciones, pero con los ajustes necesarios que requería el nuevo escenario: una competición oficial. La colocación de las cámaras debió adecuarse a las dimensiones de la pista, restricciones competitivas de acceso a ciertos espacios y limitaciones marcadas por la televisión, así como los soportes publicitarios instalados en la pista de atletismo; pero aún con todo ello se consiguió obtener una posición de las cámaras (Figura 3.4) casi idéntica la planteada de antemano y coincidente con lo que se venía realizando en las concentraciones.

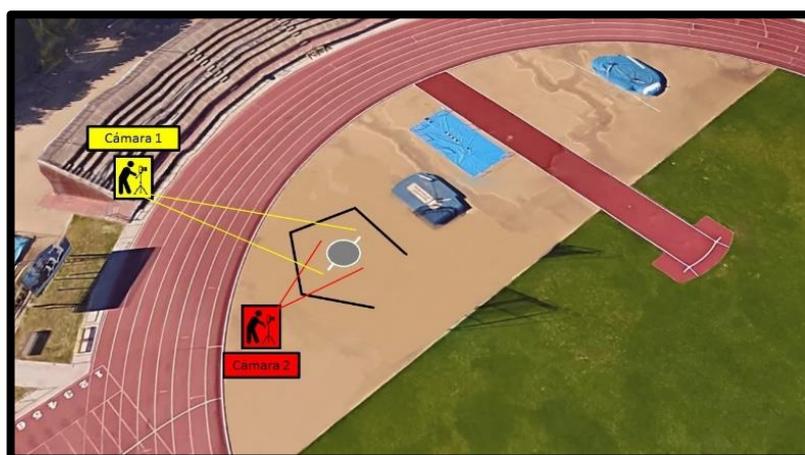


Figura 3.4. Plano de situación cámaras en el Cto. de España absoluto.

Las cámaras se colocaron previamente a que los atletas salieran a la pista e iniciaran su calentamiento, mientras que el sistema de referencia y grabación del mismo, debió de ser colocado una vez que finalizó la competición.

### 3.2.5 Tratamiento de las grabaciones y elaboración de informes

En todos los eventos se llevó a cabo un análisis cualitativo de los lanzamientos. Para ello, las imágenes de las 2 cámaras de alta velocidad se sincronizaron en el software de uso libre Kinovea (v0.8.25) y se recortaron desde el inicio (inicio del primer balanceo) al final del lanzamiento (salida del disco de la mano del lanzador y fase de recuperación). Una vez realizado este proceso, se procedió al montaje de un vídeo compuesto por las dos imágenes, que era entregado a los entrenadores, donde podía observarse simultáneamente a alta velocidad el lanzamiento desde las dos perspectivas mencionadas (Figura 3.5).



Figura 3.5. Ejemplo de dos fotogramas del video cualitativo elaborado para los entrenadores.

A nivel cuantitativo se comenzó a desarrollar el modelo para poder analizar y realizar el tratamiento digital de las filmaciones con los registros obtenidos durante la Primera Concentración. Con el paso de las concentraciones dicho modelo se fue puliendo y mejorando hasta formar el modelo con el que estamos trabajando actualmente y que sigue en fase de evolución.

Dado que el lanzamiento de disco es un movimiento compuesto por componentes que se desarrollan en los tres ejes del espacio y que culmina con la liberación de un artefacto, lanzamiento balístico del mismo (Floria 2006); la técnica que vamos a utilizar es la fotogrametría. La fotogrametría, se define como aquella técnica que se ocupa de determinar dimensiones, forma y posiciones de objetos a partir de imágenes (Zatsiosky, 1990) (Bermejo y cols., 2012).

Utilizando las mismas imágenes que se han descrito, además del sistema de referencia que fue grabado con anterioridad o posterioridad a la realización de los lanzamientos. Las filmaciones se trataron en el software Kinescan-IBV (v.2001) para su análisis cuantitativo.

Dentro del software la primera tarea fue la construcción de un sistema de referencia (Figura 3.6), para lo que se utilizó las grabaciones del cubo de 2x2x2. En cada nudo del cubo se le asignaba una coordenada espacial  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Los ejes del sistema tridimensional fueron ejes  $X$  (antero-posterior),  $Y$  (vertical), y  $Z$  (medio-lateral). El origen se situó en lugar más próximo al origen del movimiento, para facilitar la interpretación de los resultados.

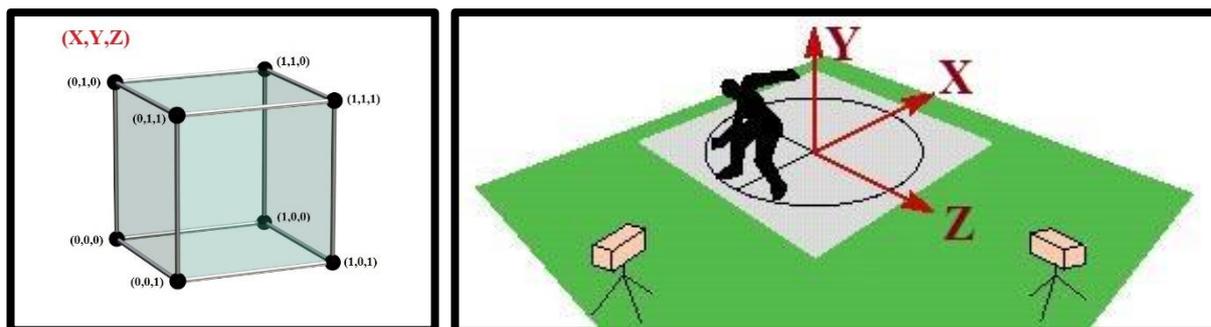


Figura 3.6. Sistema de referencia creado en Kinescan IBV (v.2001).

El modelo de lanzamiento se basó en un único punto (el disco), así como una serie de variables derivadas de la posición del mismo en el espacio y en el tiempo. Estas variables fueron:

- Velocidad de lanzamiento: Módulo del vector velocidad medido en el instante de liberación del disco.
- Ángulo de lanzamiento: Ángulo entre el vector velocidad y la horizontal en el instante de liberación del disco.
- Altura de liberación: Coordenada Y del disco en el instante de liberación medida desde el suelo.
- Distancia horizontal hasta el borde anterior del círculo: Coordenada X del disco en el momento de liberación medida hasta el borde anterior del círculo.

En cada uno de los eventos, antes de comenzar con el análisis se tiene que realizar la digitalización del sistema de referencia. A continuación, se crea la escena con los videos de la cámara frontal y sagital; cuando ya está creada la escena con ambos videos del lanzamiento, procedemos a la sincronizaron temporal. Tras ello recortamos el segmento de la escena que nos interesa y es el momento de digitalizar el disco. En nuestro caso, la fase elegida para el análisis cuantitativo en la fase final o de doble apoyo hasta la fase de liberación del artefacto.

En la Primera Concentración se montaron los videos de los dos lanzamientos grabados, para ser visualizados de forma conjunta por entrenadores y atletas en otra de las sesiones de entrenamiento de esa misma concentración, con el objetivo de realizar una valoración cualitativa de la técnica de esos atletas. En Google Drive se colgaba el video y el enlace era incluido en el informe de valoración físico técnica que se entregaba posteriormente a los entrenadores de los atletas que habían participado en la concentración. (Figura 3.7). A nivel cuantitativo no se dieron resultado dado que las imágenes obtenidas de utilizaron para desarrollar el modelo de análisis.



**RFEA**  
Real Federación Española de Atletismo

**INFORME CONTROL DE CAPACIDAD**  
**SECTOR DE LANZAMIENTOS**  
RFEA

**NOMBRE DEL ENTRENADOR RESPONSABLE:**  
[Redacted]

**NOMBRE DEL ATLETA:**  
[Redacted]

**PRUEBA:**  
Lanzamiento de disco.

**CATEGORIA:** Juvenil      **FECHA:** 9 de octubre de 2016

**VALORACIÓN DE LA CONDICIÓN FÍSICA GENERAL**  
**Y EVOLUCIÓN EN LA TEMPORADA**

Se observa una mejoría respecto a sus registros de este mismo momento en la temporada pasada. Hay aspectos como la carrera y los saltos, en los que habrá que seguir insistiendo, debe mejorar sus registros. Creo que es importante seguir insistiendo en este aspecto para su posterior evolución en el rendimiento.

**VALORACIÓN TÉCNICA**

**PUNTOS FUERTES:**

Trabaja, se esfuerza, entiende las cosas y tiene sensaciones de lo que hace, lo que buenísimo; es muy fácil trabajar con él.

**PUNTOS DÉBILES:**

- En los finales, cuando está llevando el disco hacia atrás, se levanta, extiende la rodilla derecha, por lo que mueve el peso del metatarso hacia el talón y eso le conduce al siguiente aspecto, que es que comienza a trabajar con las piernas muy tarde. Quiero que comience a arrastrar el disco con la pierna y la cadera derechas desde atrás, no puede permitir que el disco se adelante.
- Creo necesario insistir también en el bloqueo de la parte izquierda, en los completos que hemos hecho ha dado golpes con la cabeza, hay que empujar muy fuerte el suelo con el pie izquierdo para mantener la tensión de toda la parte izquierda, no sólo trabaja el brazo.

**PROPUESTAS DE TRABAJO**

Pienso que es importante afianzar y automatizar una buena parte principal del lanzamiento. Los dos aspectos a mejorar desde el punto de vista técnico serían los dos expuestos anteriormente.

1. Comenzar a arrastrar el disco desde lo más atrás posible, no esperar a que se adelante.
2. Saber en qué momento hay que dejar de trabajar porque soltamos el disco. En este momento hace falta un buen bloqueo desde los metatarsos del pie izquierdo hasta la oreja izquierda... hay que concentrar en este momento la tensión necesaria para tener un buen eje desde el hombro izquierdo que permita un amplio radio de giro.

**VIDEO 1 ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA TÉCNICA**  
**VIDEO 2 ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA TÉCNICA**



Figura 3.7. Ejemplo de informe entregado a los entrenadores en la Primera Concentración.

En la segunda y tercera concentración se incorporó al informe una foto-seriación con los instantes claves del lanzamiento y se mantuvo el enlace con los vídeos compuestos de los lanzamientos filmados (Figura 3.8).



**RFEA**  
Real Federación Española de Atletismo

**INFORME CONTROL DE CAPACIDAD**  
**SECTOR DE LANZAMIENTOS**  
RFEA

**NOMBRE DEL ENTRENADOR RESPONSABLE:**  
[Redacted]

**NOMBRE DEL ATLETA:**  
[Redacted]

**PRUEBA:**  
Lanzamiento de disco.

**CATEGORIA:** Juvenil      **FECHA:** 6 de Diciembre de 2016

**VALORACIÓN DE LA CONDICIÓN FÍSICA GENERAL**  
**Y EVOLUCIÓN EN LA TEMPORADA**

Como siempre, progresa y va mejorando sus parámetros de fuerza.

**VALORACIÓN TÉCNICA**

**PUNTOS FUERTES:**

- Tiene muy clara las ideas y es fácil trabajar con él.
- Siempre viene con ganas, pero en esta concentración estaba un poco desesperado y le costaba corregir un poco más de lo normal.

**PUNTOS DÉBILES:**

- En la salida, no ha levantado el pie derecho del suelo y el hombro izquierdo ya está por delante del punto de apoyo. Además, no trabaja con el pie derecho, simplemente lo levanta del suelo. Ha perdido ya toda la torsión entre hombros y cadera.
- La pierna derecha va tarde y estirada. Hay que trabajar con e muslo, entrando con la rodilla adelante.

**PROPUESTAS DE TRABAJO**

1. Quitar la prisa en la salida, y trabajar con ambos pies, especialmente con el derecho desde que el disco llega a la posición más retrasada.
2. Salir con el peso del cuerpo sobre los metatarsos, con el peso del cuerpo en las rodillas, en el tendón rotuliano. El tronco totalmente vertical.
3. Trabajar de forma activa con el pie izquierdo en la salida, para que avance rápido hasta el fondo del círculo y llegue pronto y bien orientado.

Todos los males están en la salida, mejorando en ella, el resto se solucionará.

**VIDEO 1 ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA TÉCNICA**      **VIDEO 2 ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA TÉCNICA**

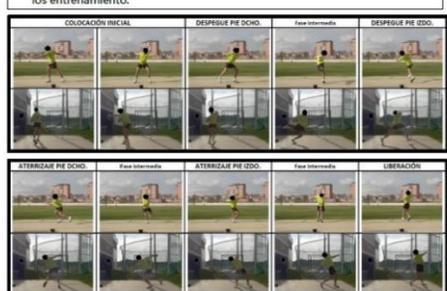




Figura 3.8. Ejemplo de informe entregado a los entrenadores en la 2ª y Tercera Concentración.

En la tercera concentración ya se ofrecieron datos cuantitativos, pero no fueron incorporados a los informes; los datos cuantitativos de los lanzamientos fueron facilitados a los entrenadores en una tabla con los datos conjuntos de todos los atletas y sus lanzamientos (Figura 3.9).

**RFEA**  
Real Federación Española de Atletismo

**INFORME CONTROL DE CAPACIDAD - SECTOR DE LANZAMIENTOS**

**DATOS CUANTITATIVOS LANZAMIENTO DE DISCO 25/03/2017**

LANZAMIENTO	ATLETA	Distancia de lanzamiento	Velocidad de lanzamiento	Angulo de lanzamiento	Altura de liberación	Distancia perdida	Distancia teórica
		m	m/s	º	m	m	m
<b>1º LANZ.</b>	ATLETA 1	47,34	21,48	32,70	1,72	0,04	45,26
	ATLETA 2	36,55	20,35	35,14	1,25	0,78	40,66
	ATLETA 3	50,37	22,31	40,05	1,81	0,10	51,97
	ATLETA 4	46,60	21,96	32,77	1,63	0,61	46,54
	ATLETA 5	44,75	21,11	37,16	1,79	0,26	45,73
<b>2º LANZ.</b>	ATLETA 1	48,54	20,75	34,77	1,60	0,25	43,07
	ATLETA 2	39,86	20,93	35,88	1,43	0,55	43,76
	ATLETA 3	49,08	22,03	41,00	1,72	0,23	50,67
	ATLETA 4	45,46	21,39	35,47	1,64	0,72	45,57
	ATLETA 5	X	X	X	X	X	X
<b>3º LANZ.</b>	ATLETA 1	45,94	20,46	35,50	1,47	0,32	42,01
	ATLETA 2	34,24	18,01	39,74	1,50	0,57	33,64
	ATLETA 3	53,00	21,22	42,40	1,58	0,32	47,07
	ATLETA 4	44,64	19,96	37,50	1,83	0,42	41,06
	ATLETA 5	39,28	21,89	32,59	1,71	0,26	46,62

Real Federación Española de Atletismo. Av. Valadribe, 81, 1º - 28009 Madrid - Tel. 91 548 24 23 - Fax: 91 547 01 13 / 91 548 00 38  
correo electrónico: rfea@rfea.es - web: www.rfea.es

Figura 3.9. Informe entregado con datos cuantitativos a los entrenadores en la 2ª y 3ª Concentración.

El informe que se elaboró para el Campeonato de España (Figura 3.10), fue construido en coordinación con el área de apoyo y análisis del rendimiento de la RFEA. Se optó por que fuera un informe meramente descriptivo, sin entrar en valoraciones técnicas del lanzamiento. Dentro del informe se incluían: datos personales del lanzador (edad, marca, experiencia, ...), enlace al vídeo compuesto en Kinovea (v0.8.25) (grabación frontal y sagital) para la valoración cualitativa, foto-seriación de los instantes claves del lanzamiento, datos cuantitativos de cada uno de los lanzamientos y finalmente una gráfica de velocidad y ángulo en el mejor de los lanzamientos digitalizados de cada uno de los atletas. Aquellos lanzamientos que fueron nulos o aquellos que no se pudieron digitalizar, por existir interferencias de otras pruebas en alguna de las imágenes, no fueron incluidos dentro de los lanzamientos analizados.

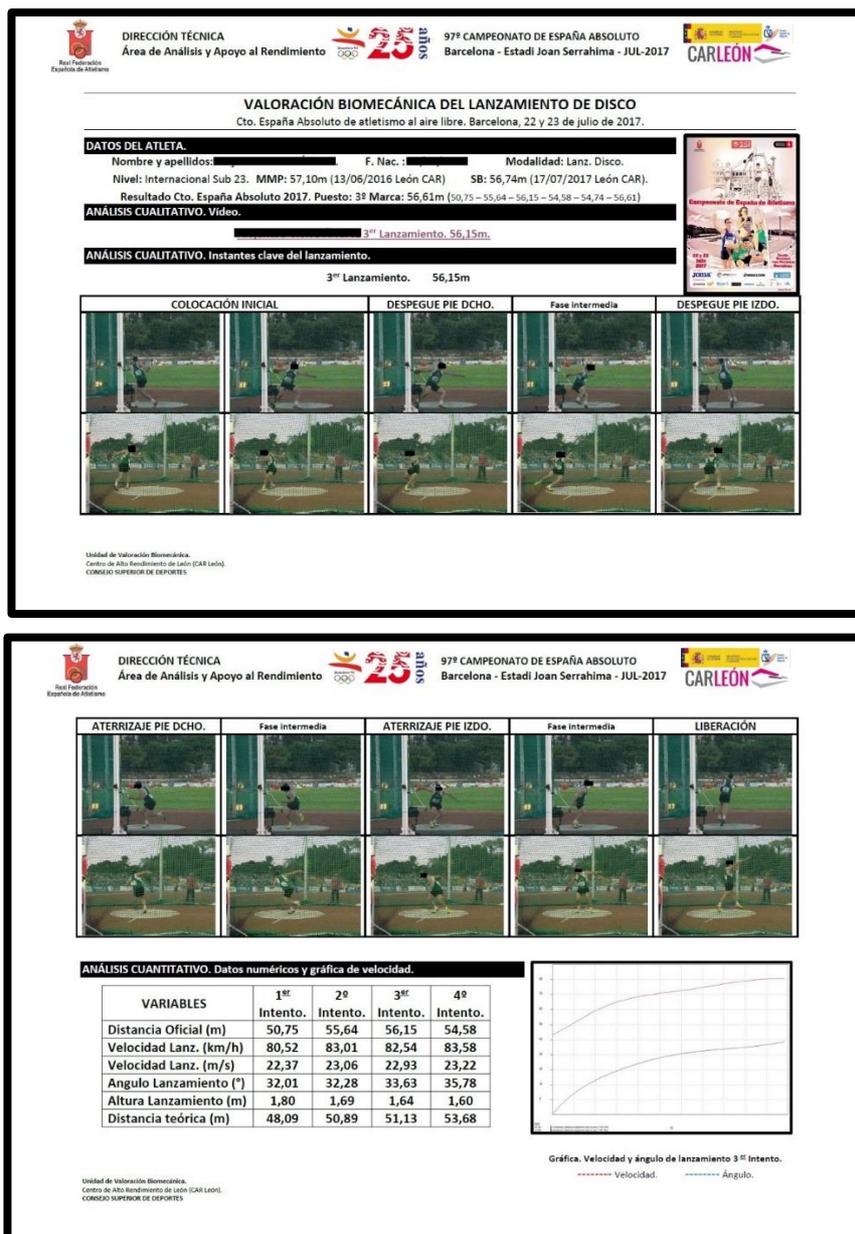


Figura 3.10. Informe elaborado en el Cto. de España Absoluto al aire libre, Barcelona 22/07/2017.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Primera Concentración

Se analizaron un total de 6 lanzadores, que realizaron 2 lanzamientos cada uno. Los vídeos compuestos de cada lanzador se facilitaron a los entrenadores, para que llevaran a cabo una valoración técnica cualitativa de los lanzamientos, en la siguiente sesión de trabajo técnico dentro de la concentración. Como norma general las grabaciones se realizaban el sábado por la mañana y el domingo antes de comenzar la sesión se realizaba una sesión de visionado de videos conjunta entre entrenadores y atletas. A modo de ejemplo, en la Figura 4.1 se observa alguno de los errores técnicos detectados en uno de los lanzadores. En la imagen se puede ver uno de los errores técnicos señalados por los entrenadores, que

consistía que en la posición de doble apoyo extiende prematuramente la pierna de impulso haciendo que el peso del cuerpo se quede sobre el talón de la pierna de bloqueo y no se impulse al disco con toda la velocidad que se podría generar.

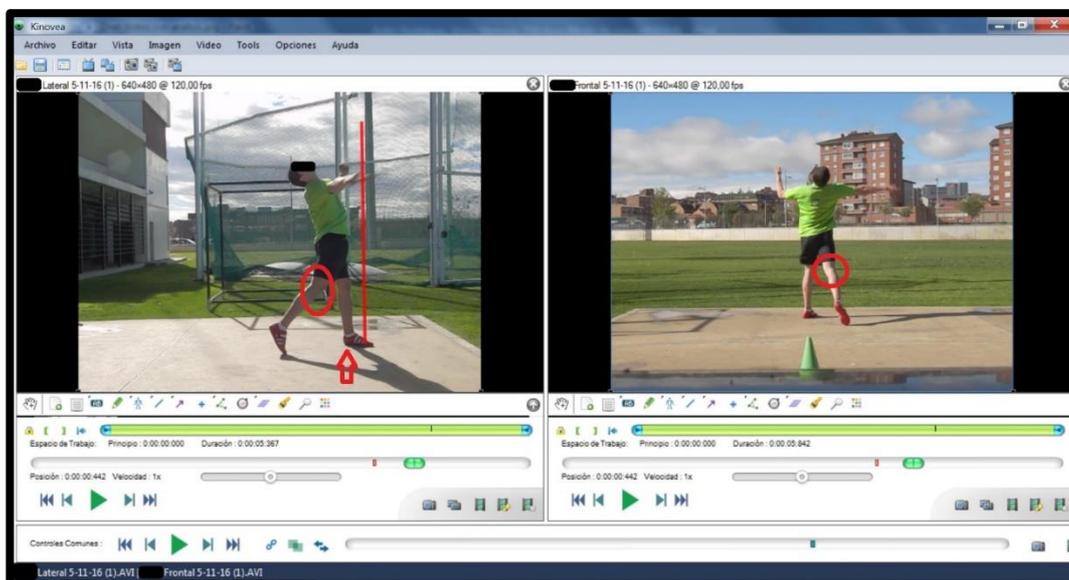


Figura 4.1. Fotogramas en los que se pueden observar alguno de los errores técnicos que se mostraban en los videos cualitativos.

A nivel cuantitativo en esta primera concentración no se facilitaron resultados, puesto que todo el trabajo se centró en diseñar dentro del software Kinescan-IBV (v.2001) el proceso de análisis de las diferentes variables seleccionadas. En este primer diseño se calculaban la velocidad de lanzamiento, junto con el ángulo y altura de liberación del mismo.

## 4.2 Segunda Concentración

En esta ocasión fueron 7 los lanzadores a los cuales filmamos sus dos últimos lanzamientos, en la primera sesión de entrenamiento de la concentración. Los resultados obtenidos a nivel cualitativo se entregaron a los entrenadores de dos formas: por un lado, con el video compuesto y por otro lado con una foto-seriación de los instantes claves del lanzamiento (Figura 4.2). El video se montó con en la concentración anterior para que los entrenadores pudieran realizar en esa misma concentración un análisis técnico con los propios atletas. En el informe se incluyó el enlace a los videos y a la vez se incorporaba la foto-seriación. En la propia foto-seriación no se incluyeron correcciones técnicas, dado que se quería mantener el espíritu descriptivo de la misa sobre lo prescriptivo que ya venía reflejado en el resto del informe. Como en la anterior concentración las correcciones cualitativas sobre los vídeos se llevaban a cabo en la sesión técnica – teórica que se producía con los atletas en la propia concentración.

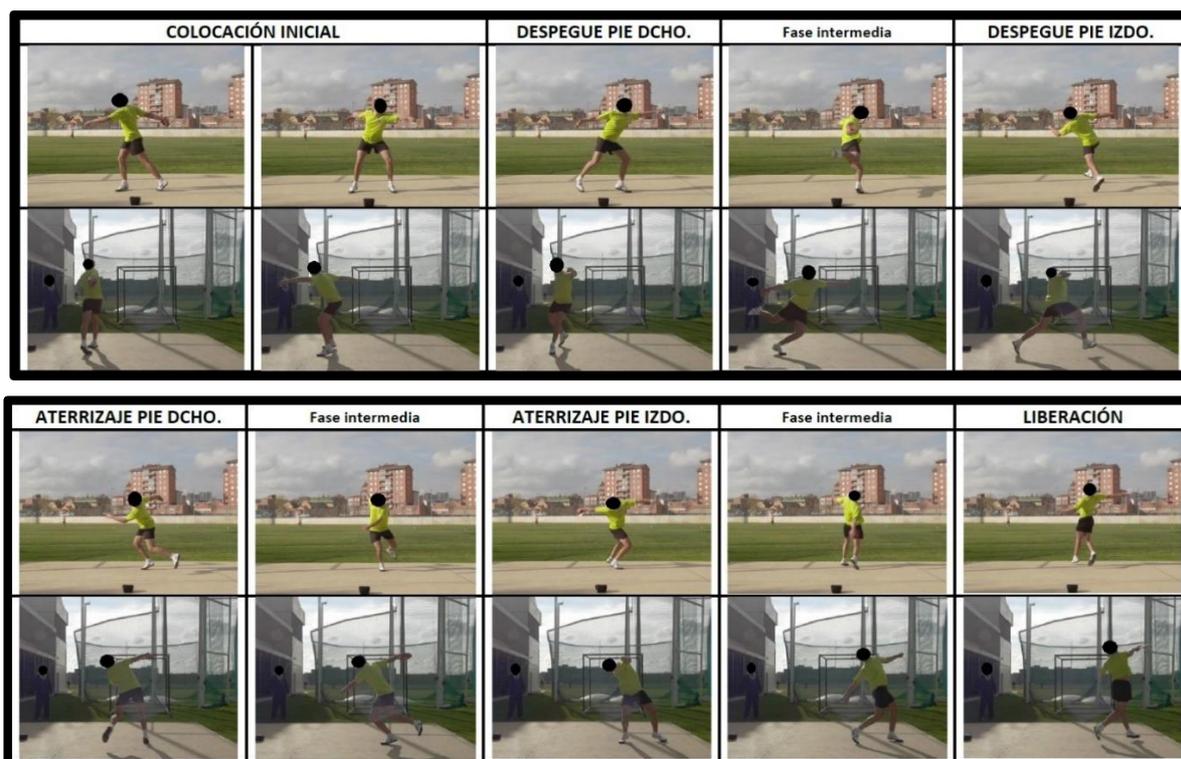


Figura 4.2. Foto-seriación en consonancia con instantes claves del lanzamiento de disco.

El software Kinescan-IBV (v.2001), funcionaba correctamente y con las medidas registradas del mejor de los lanzamientos se comenzó a trabajar en los factores cuantitativos. Los resultados obtenidos todavía no se ofrecieron a los entrenadores, dado que existían algunas dudas sobre algún dato, y para calcular alguna de las variables necesitábamos afinar más el procedimiento.

### 4.3 Tercera Concentración

Las grabaciones se efectuaron ya en el círculo de lanzamiento, lo que permitió que los datos cuantitativos se pudieran dar ya a los entrenadores. Se grabó a 5 atletas y a cada uno de ellos se le registraron tres lanzamientos. Todos los lanzamientos fueron marcados para su posterior medición. Al ser un entrenamiento, y para mantener la calidad de imagen, se grabó con la red de la jaula bajada.

Al igual que en eventos anteriores, los resultados cualitativos fueron generados durante el transcurso de la propia concentración, de forma que dicha información se incluyó en los informes y pudo utilizarse en la sesión de video con los lanzadores. Se facilitó bajo el mismo procedimiento que en la concentración anterior. En el caso de la información cuantitativa llevo algo más de tiempo generarla, y se entregó posteriormente en una tabla conjunta de los atletas y sus lanzamientos como se puede ver en la Tabla 4.1. Los lanzamientos que serán nulos, no eran analizados.

DATOS CUANTITATIVOS LANZAMIENTO DE DISCO 25/03/2017							
LANZAMIENTO	ATLETA	Distancia de lanzamiento	Velocidad de lanzamiento	Angulo de lanzamiento	Altura de liberación	Distancia perdida	Distancia teórica
		m	m/s	o	m	m	m
1º LANZ.	ATLETA 1	47,34	21,48	32,70	1,72	0,04	45,26
	ATLETA 2	36,55	20,35	35,14	1,25	0,78	40,66
	ATLETA 3	50,37	22,31	40,05	1,81	0,10	51,97
	ATLETA 4	46,60	21,96	32,77	1,63	0,61	46,54
	ATLETA 5	44,75	21,11	37,16	1,79	0,26	45,73
2º LANZ.	ATLETA 1	48,54	20,75	34,77	1,60	0,25	43,07
	ATLETA 2	39,86	20,93	35,88	1,43	0,55	43,76
	ATLETA 3	49,08	22,03	41,00	1,72	0,23	50,67
	ATLETA 4	45,46	21,39	35,47	1,64	0,72	45,57
	ATLETA 5	X	X	X	X	X	
3º LANZ.	ATLETA 1	45,94	20,46	35,50	1,47	0,32	42,01
	ATLETA 2	34,24	18,01	39,74	1,50	0,57	33,64
	ATLETA 3	53,00	21,22	42,40	1,58	0,32	47,07
	ATLETA 4	44,64	19,96	37,50	1,83	0,42	41,06
	ATLETA 5	39,28	21,89	32,59	1,71	0,26	46,62
MEDIA		46,82	21,33	36,54	1,68	0,32	45,96
DESVIACIÓN		3,57	0,72	3,43	0,11	0,20	3,30

Tabla 4.1. Datos cuantitativos Tercera Concentración. Los resultados sombreados correspondientes al atleta 2 no se incluyeron en los cálculos de media y desviación por ser la una chica.

#### 4.4 Campeonato de España absoluto al aire libre

En el campeonato de España se grabaron al completo las dos pruebas de lanzamiento de disco, tanto masculina como femenina. Pero los resultados solo se pudieron obtener de la prueba masculina debido a la iluminación de la instalación, que hace muy dificultosa la digitalización del artefacto en la prueba de disco femenino.

Se grabó a 14 lanzadores y un total de 64 lanzamientos. De todos esos lanzamientos los lanzamientos que fueron nulos o en los que había interferencia de otras pruebas no se pudieron digitalizar, lo que redujo el número de lanzamientos analizados a 39. La Figura 4.3 muestra las correlaciones entre la distancia oficial y la velocidad, altura y ángulo de lanzamiento, siendo estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) sólo la de la velocidad de lanzamiento. Además, la distancia media oficial de estos lanzamientos fue de  $53,36 \pm 3,96$  m, y sólo la velocidad mostró cambios significativos al comparar los mejores y peores lanzamientos de cada atleta ( $23,21 \pm 0,77$  m/s vs  $22,83 \pm 0,86$  m/s, respectivamente), sin diferencias en el ángulo de lanzamiento ( $35,71^\circ \pm 4,47^\circ$  vs  $34,56^\circ \pm 4,03^\circ$ ), la altura de

liberación ( $1,60 \pm 0,13$  m vs  $1,63 \pm 0,11$  m) y la distancia perdida ( $0,48 \pm 0,19$  m vs  $0,49 \pm 0,22$  m).

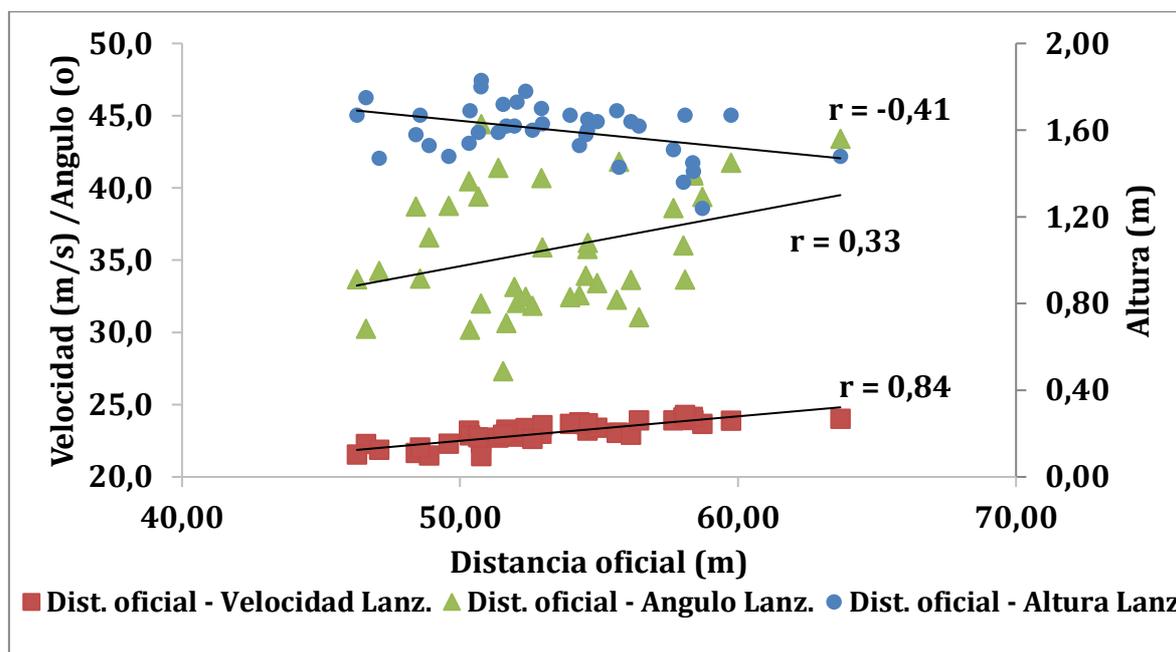


Figura 4.3. Correlaciones entre distancia oficial y velocidad, ángulo y altura de lanzamiento en el lanzamiento de disco masculino del Cto. España absoluto.

DATOS CUANTITATIVOS LANZAMIENTO DE DISCO MASCULINO							
Cto. ESPAÑA ABSOLUTO							
ATLETA	Intento	D. Oficial (m)	V. Lanz. (m/s)	Ang. Lanz. (o)	h. Lanz. (m)	D. Perdida (m)	D. teórica (m)
1 <sup>er</sup> Clasificado	1 <sup>o</sup>	63,68	24,03	43,41	1,48	0,42	59,85
2 <sup>o</sup> Clasificado	5 <sup>o</sup>	58,71	23,67	39,39	1,24	0,45	57,05
3 <sup>er</sup> Clasificado	6 <sup>o</sup>	59,75	23,89	41,74	1,67	0,42	59,22
4 <sup>o</sup> Clasificado	3 <sup>o</sup>	56,15	22,93	33,63	1,64	0,64	51,13
5 <sup>o</sup> Clasificado	5 <sup>o</sup>	56,43	23,91	31,06	1,62	0,65	53,44
6 <sup>o</sup> Clasificado	3 <sup>o</sup>	54,93	23,40	33,42	1,64	0,73	52,98
7 <sup>o</sup> Clasificado	2 <sup>o</sup>	54,59	23,73	36,21	1,65	0,76	56,13
8 <sup>o</sup> Clasificado	4 <sup>o</sup>	52,36	23,38	32,47	1,78	0,49	52,65
9 <sup>o</sup> Clasificado	2 <sup>o</sup>	52,96	23,60	35,89	1,63	0,13	55,95
10 <sup>o</sup> Clasificado	3 <sup>o</sup>	51,55	22,93	27,33	1,72	0,41	46,42
11 <sup>o</sup> Clasificado	3 <sup>o</sup>	50,76	21,44	44,43	1,83	0,87	47,80
12 <sup>o</sup> Clasificado	3 <sup>o</sup>	50,66	22,76	39,41	1,59	0,52	53,14
13 <sup>o</sup> Clasificado	1 <sup>o</sup>	48,89	21,48	36,57	1,53	0,13	46,87
14 <sup>o</sup> Clasificado	3 <sup>o</sup>	48,56	22,04	33,72	1,67	0,46	47,63
<b>MEDIA</b>		<b>54,28</b>	<b>23,09</b>	<b>36,33</b>	<b>1,62</b>	<b>0,51</b>	<b>52,88</b>
<b>DESVIACIÓN</b>		<b>4,36</b>	<b>0,87</b>	<b>4,89</b>	<b>0,14</b>	<b>0,21</b>	<b>4,48</b>

Tabla 4.3. Datos cuantitativos a un lanzamiento por atleta Cto. España Absoluto.

La Tabla 4.3 muestra el análisis de los mejores lanzamientos de cada uno de los participantes, con distancias que oscilaron entre los 48,56 m del último clasificado y los 63,68 m del primero. En el análisis de los mejores lanzamientos (Figura 4.4) sí que se observó una tendencia a que los primeros clasificados obtuvieran una mayor distancia oficial que teórica (6 de los primeros 7 atletas), al ser comparados con los últimos clasificados (4 de los últimos 7 atletas).

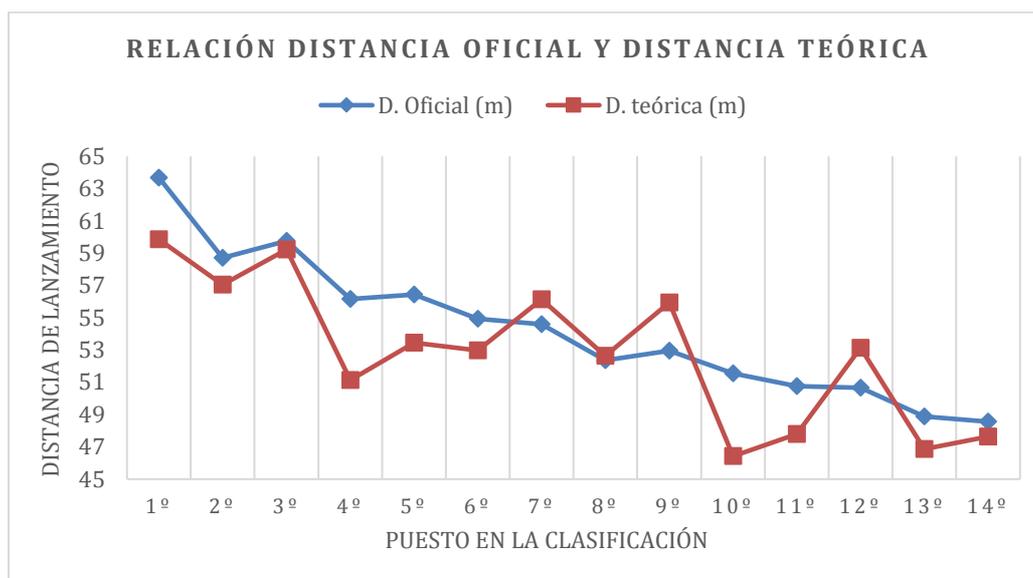


Figura 4.4. Relación entre distancia oficial y teórica Cto. España Absoluto.

En la Tabla 4.4 se pueden ver los lanzamientos analizados de un mismo lanzador y observar como en todos los lanzamientos consigue una mayor distancia oficial que teórica.

ATLETA	Intento	D. Oficial (m)	V. Lanz. (m/s)	Ang. Lanz. (o)	h. Lanz. (m)	D. Perdida (m)	D. teórica (m)
2º Clasificado	2º	58,09	24,30	33,66	1,67	0,63	57,31
2º Clasificado	6º	59,75	23,89	41,74	1,67	0,42	59,22

Tabla 4.4. 2º clasificado en Cto. de España. Datos cuantitativos de sus lanzamientos analizados.

En cuanto a los resultados cualitativos, siguiendo el guion de los informes de las concentraciones se entregó en el informe una foto-seriación de los instantes clave del lanzamiento, en uno de los lanzamientos más largos de cada atleta y que por condiciones de iluminación tuvieran una mejor calidad de imagen. Así mismo se montó también un video compuesto por la grabación frontal y sagital de ese lanzamiento, que se subió a google drive y el enlace para acceder a él iba insertado dentro del propio informe. Todos los informes al contener contenido multimedia eran enviados por correo electrónico como archivos Pdf.

---

## 5. DISCUSIÓN

---

En la Primera Concentración, Como era la primera vez que íbamos a trabajar de esta forma, se intentó no realizar demasiadas grabaciones, para no entorpecer demasiado el desarrollo del entrenamiento, a la vez que el tener pocos videos para analizar facilitaba la celeridad en la elaboración de los resultados, en este caso los videos compuestos.

Los resultados obtenidos a nivel cualitativo y la elaboración de los videos compuestos que se facilitaban a los entrenadores fueron en la línea que se espera obtener; y creo que ayudaron tanto a los entrenadores como a los atletas a tener una mejor comprensión sobre los aspectos técnicos que estaban trabajando.

Los mayores problemas surgieron con el diseño o programación del protocolo de análisis dentro del software Kinescan-IBV (v.2001). El primer problema fue conseguir hacer funcionar el propio software en un ordenador actual. El segundo problema fue conseguir que los videos tuvieran un formato que el software admitiera. El tercer problema fue programar el software para obtener las variables deseadas, donde la velocidad y altura de lanzamiento fueron más sencillas de programar, a diferencia del cálculo del ángulo, que costó algo más.

Una vez que todo estaba en marcha nos dimos cuenta que hubiéramos necesitado la medición de los lanzamientos, para calculando la distancia teórica de lanzamiento, tener una variable más para comparar y cotejar los resultados. A nivel cualitativo también había cosas que mejorar y pensamos que para que los resultados en este aspecto pudieran ser más gráficos y quedar más reflejados en el informe, se podía incluir una foto-seriación de los instantes clave del lanzamiento.

En la Segunda Concentración, la puesta en acción del procedimiento de registro fue prácticamente similar a la primera concentración, y solo se sumó el marcaje medición del mejor lanzamiento de cada atleta, respetando de nuevo que se alterara lo menos posible la condición de entrenamiento. A nivel cualitativo, se incluyeron las foto-seriaciones, que otorgaban a los informes físicos un mejor reflejo de las diferentes fases de los lanzamientos. En la elaboración de los vídeos, el hecho de seguir teniendo pocos registros ayudó a poder editarlos y ponerlos en formato compuesto para que al día siguiente los entrenadores y atletas ya pudieran trabajar sobre ellos. En los análisis cuantitativos nos dimos cuenta de dos aspectos que deberíamos mejorar. El primero era poder registrar la distancia perdida, o lo que es lo mismo, la distancia horizontal hasta el borde anterior del círculo desde el punto de liberación del artefacto, con lo que debimos de programar una nueva variable dentro del software. Esta variable era necesaria para poder calcular la distancia teórica de lanzamientos, además de poder ser una variable de eficacia del lanzamiento. El segundo era cambiar la ubicación del sistema de referencia para la calibración, porque nos dimos

cuenta que lo estábamos colocando centrado al círculo, cuando la parte del lanzamiento que estábamos analizando era la fase final o doble apoyo, con lo que cabía la posibilidad de que alguna de las digitalizaciones hubiera que hacerlas fuera del espacio que ocupaba el sistema de referencia. Así, se optó por colocar el cubo centrado en la parte final del círculo de lanzamiento. En definitiva, para el próximo evento, debíamos comenzar a grabar ya dentro del propio círculo de lanzamiento.

En la Tercera Concentración, sumando todas las mejoras que habíamos ido realizando en el transcurso de los anteriores eventos, poníamos en práctica metodología programada y sistemática, que era uno de los objetivos generales de este TFM. La preparación, calibración y filmación de los de los lanzamientos se realizó de una forma óptima, sin modificar el plan de entrenamiento. Cada lanzamiento se iba marcando y al finalizar las filmaciones, mientras los atletas continuaban con el trabajo de la sesión, eran medidos y anotados. Los resultados cualitativos aportaron información mediata que sirvió para trabajar en una sesión posterior en la propia concentración y dar al informe ese elemento de distinción ante informes basados únicamente en valoraciones subjetivas. La información cuantitativa tuvo algo más de dilación de la deseada, porque era la primera vez que se realizaba, pero finalmente se pudo enviar a los entrenadores tras 15 días de análisis. En los datos obtenidos (Tabla 4.1) se observa que los valores de distancia de lanzamiento son similares a los mencionados por Floria (Floria, 2006). Sin embargo, las velocidades son inferiores ( $21,33 \pm 0,72$  m/s frente a los datos que facilita Floria y que podemos ver en la Tabla 1.3), debido a que los lanzadores analizados utilizaban discos más livianos, por pertenecer a la categoría Sub-20 en vez de Absoluta. Los valores de los ángulos también son bastante similares, así como a los de la altura de lanzamiento.

En el Campeonato de España, como se ha dejado entrever, se dieron algunos problemas a la hora de poner en marcha nuestra metodología. En primer lugar, hubo que ajustar la posición de las cámaras, aunque la posición final fue muy similar a las planeadas. Para colocar el sistema de referencia y hacer la grabación de calibración, hubo que cambiar ligeramente el procedimiento llevado a cabo en las concentraciones, y grabar el sistema de referencia una vez finalizada la prueba, en vez de al principio. Este cambio se debió a la imposibilidad de acceder a la pista durante el transcurso de la competición, ya que justo antes de la prueba de lanzamiento de disco había tenido lugar la prueba de lanzamiento de martillo. Este cambio afecta ligeramente al ajuste de la cámara respecto al sistema de referencia (hay que colocar las cámaras sin tener el sistema de referencia), que, como puede verse en la Figura 5.1, sería algo mejorable. Al día siguiente, durante el análisis de la competición de las mujeres (no se incluye en el presente TFM), esta cuestión fue mejorada (Figura 5.2).



Figura 5.1. Encuadre cámara frontal y digital primer lanzamiento disco masculino.



Figura 5.2. Encuadre cámara frontal y digital primer lanzamiento disco femenino.

Aunque en el análisis del disco femenino se colocaron cámaras y el sistema de referencia antes de la salida de las atletas a pista para calentar, las condiciones climatológicas (tormenta de agua y tormenta eléctrica) hicieron que se tuviera que desmontar todo, salvo los trípodes (Figura 5.3). Una vez que paso el fenómeno meteorológico, la competición se retomó, no sin cierto retraso sobre el horario previsto. Se montaron las cámaras, pero el sistema de referencia y la grabación para la calibración del mismo se tuvo que hacer una vez terminada la prueba como en el caso del disco masculino. Esto pone de relieve las dificultades propias de un estudio de campo en condiciones de competición, donde a los problemas mencionados hay que sumar las interferencias producidas por la gente (jueces, atletas, personal de la organización, ...) que se cruzaban por el medio del campo de grabación de las cámaras, haciendo que algunas filmaciones quedaran inutilizadas para su digitalización dado que no se podía ver el disco.



Figura 5.3. Tormenta eléctrica previa al lanzamiento de disco femenino en el Cto. España Absoluto.

Estas condiciones adversas de grabación han tenido su efecto negativo a la hora de intentar hacer las digitalizaciones de la prueba femenina, dado que la falta de iluminación hizo que la calidad de imagen no fuera la necesaria para el análisis completo de la prueba (Figura 5.2). Se juntó la tormenta al hecho de que, en Barcelona, al encontrarse en la parte más oriental de la península anochece antes; así como que la iluminación de la propia pista no era la adecuada para una competición de este nivel. Por los motivos comentados, los resultados de la mencionada prueba no han sido incorporados en el presente TFM. En el caso del disco masculino, la hora de competición fue algo más temprana, por lo que más de la mitad de la prueba tuvo buenas condiciones de luminosidad.

A nivel cuantitativo comenzamos por la variable más determinante. Los resultados obtenidos de velocidad de lanzamiento  $23,07 \pm 0,80$  m/s (Tabla 4.3), son bastante similares entre todos los lanzadores y están de acuerdo a la clasificación final en la prueba; con lo que se confirma la velocidad de lanzamiento como una de las variables más determinantes del resultado final. Es la variable que más correlación guarda con la distancia de lanzamiento ( $r=0,84$ ) (Figura 4.4), y como indicamos hay una relación directa, puesto que los atletas que mejor se clasifican son aquellos que consiguen una mayor velocidad de liberación. Si la comparamos con datos de velocidad de lanzamiento que aparecen en la literatura (Tabla 1.3 (Floria 2006)), se mueven en un rango de 21 m/s a 25 m/s, en distancias de lanzamientos similares o algo superiores a las que obtenemos en este TFM ( $53,36 \pm 3,96$  m) (Tabla 4.3) En cuanto al ángulo de lanzamiento y altura de liberación no se consiguen correlaciones altas con la distancia oficial de lanzamiento (Tabla 4.3); pero los atletas se mueven en  $35,79^\circ \pm 4,27^\circ$  para el ángulo de lanzamiento, mientras que la altura de lanzamientos está situada en valores de  $1,60 \text{ m} \pm 0,12 \text{ m}$ . Estos datos no tienen tanta influencia en el resultado final, a pesar de estar muy en concordancia con los datos que aparecen en la literatura pues por ejemplo Dapena & cols. (1997) dan valores de ángulo de lanzamiento  $35^\circ \pm 3^\circ$  y de altura de  $1,71 \pm 0,11 \text{ m}$ ; o Silvester & McCoy (1995) dan ángulos de  $35,4^\circ \pm 2,9^\circ$  y alturas de  $1,59 \pm 0,17 \text{ m}$ . En la tabla 1.3 podemos comparar con otros estudios estos valores. De alguna forma, el hecho de que estas variables no fueran diferentes en los análisis previos al Campeonato de España (es decir, en las Concentraciones, donde los atletas lanzaban artefactos más livianos), ya orientaba sobre que podrían ser variables no sensibles al rendimiento.

La comparación de los datos obtenidos a nivel cuantitativo en el Campeonato de España, muestra una buena la relación con los existentes en la bibliografía. (Hay & Yu, 1995; Dapena 1997; Yu & cols., 2010; Floria, 2006; Hubbard & Cheng, 2007; Leigh & cols., 2008; Leigh & cols., 2010; Yu & cols., 2010). Esto indica la sensibilidad de la metodología propuesta. Aunque en cada uno de los estudios previos la metodología de grabación fue con

diferentes sistemas y cada uno con una calidad de grabación diferente; se observa que los datos de velocidad, ángulo y altura de lanzamiento son muy coincidentes con los datos obtenidos en este TFM. En sujetos que tenían la misma marca de lanzamiento que los lanzadores del presente estudio los valores son similares; mientras que cuando se compara con atletas que tienen marcas superiores, los valores quedan por debajo de los descritos en la literatura.

Poniendo en relación el resultado oficial con la marca teórica de lanzamiento, comparando el mejor y el peor lanzamiento de cada uno de los atletas de la competición, se muestra que hay dos tendencias claras (Figura 4.4). Entre los siete primeros clasificados (6 contra 1) la tónica general es que la distancia oficial de lanzamientos sea superior a la distancia teórica de lanzamiento; mientras que la parte baja de la clasificación, entre los siete últimos clasificados ya existe más variedad y los lanzadores en los que su marca teórica es mayor que su marca oficial aumenta. Este dato nos muestra que aquellos atletas que se consideran de más nivel, con una supuesta mayor destreza técnica, son capaces de alcanzar mayores distancias de lanzamiento que las teóricas, por hacer un mayor aprovechamiento o eficiencia de su gesto de lanzamiento. En el otro lado se encuentran aquellos lanzadores que, aun generando velocidades de lanzamiento elevadas, se muestran incapaces de superar su marca teórica de lanzamiento. Posiblemente responda a su mala ejecución técnica.

La comparación intra-sujeto en alguno de los lanzadores (Tabla 4.4) de la parte alta de la clasificación, nos muestra como es capaz de en todos los lanzamientos superar su distancia teórica de lanzamiento. También nos deja ver como alcanza distancias de lanzamiento similares (58,09 m y 59,75m) con ángulos de lanzamiento muy diferentes ( $33,76^\circ$  y  $41,74^\circ$ ) siendo el resto de factores (velocidad y altura de lanzamiento) similares. La muestra del trabajo es baja, pero con un mayor volumen de registros se podría ver esta variabilidad técnica como un hecho relevante en nivel de rendimiento. Barlet nos dice que, para conseguir unas marcas similares de lanzamiento, no se dan los mismos parámetros, sino que el lanzador en función de sus características individuales y de los factores externos, es capaz de adaptar sus movimientos para conseguir un resultado más óptimo (Bartlett & cols., 2007). A nivel cualitativo, los entrenadores son partidarios de que los atletas de mayor nivel tienen una mayor disponibilidad de elementos técnicos y saben adaptarse mejor a los condicionantes externos que se pueden dar en las competiciones (por ejemplo, el viento). Se debe de investigar más al respecto.

---

## 6. CONCLUSIONES

---

Se ha elaborado una metodología de valoración biomecánica, cualitativa y cuantitativa, que ha sido de aplicación en los programas de análisis y apoyo al rendimiento de la RFEA. Esta metodología se ha ido mejorando durante tres concentraciones previas al Campeonato de España Absoluto de Atletismo 2017, que ha sido el punto culminante de la misma. A pesar de los problemas propios de la aplicación de un protocolo de valoración en campo, y durante el transcurso de una competición, esta metodología sienta las bases de posibles análisis biomecánicos del lanzamiento de disco en un futuro.

El análisis cualitativo, que fue el primero en implementarse, ha sido bastante útil para los entrenadores durante las concentraciones previas al Campeonato de España, ya que les ha permitido identificar e intentar trabajar sobre los errores técnicos más importantes de sus atletas.

El análisis cuantitativo, implementado en la Tercera Concentración y Campeonato de España, ha permitido obtener las principales variables biomecánicas determinantes del rendimiento en el lanzamiento de disco. Los valores obtenidos son similares a los reflejados en la literatura, siendo la velocidad de lanzamiento la única variable sensible al rendimiento. No obstante, es necesario seguir indagando sobre el hecho de que algunos deportistas consigan una mayor ganancia de distancia de lanzamiento respecto a la teórica.

---

## 7. APLICACIONES PRÁCTICAS Y LÍNEAS FUTURAS

---

La principal aplicación práctica del trabajo fue el apoyo a los entrenadores con una metodología de análisis que compagina información cuantitativa y cualitativa. Aunque al inicio era un método de apoyo para actividades de entrenamiento, con la evolución que ha tenido, se adapta también a competiciones. Se debe mejorar el tipo de informe elaborado para cada una de las actividades, para seguirlos enriqueciendo en cuanto a información (gráficas más completas, nuevos datos cuantitativos, ...). Es muy importante mantener el carácter de los informes: descriptivo en el caso de las competiciones, mientras en las concentraciones debe aunar a lo descriptivo, una parte más crítica y prescriptiva. El camino está abierto en el lanzamiento de disco, se puede aprovechar para utilizar en muchas más actividades y concentraciones. Y también se puede extender a otras disciplinas.

La línea de futuro principal debe de ser trabajar por mejorar la imagen de registro, dotarla de mayor calidad (resolución, tamaño, velocidad de grabación, sincronización, ...). Son muchos los aspectos en los que se puede evolucionar, pero siempre se debe de mantener la máxima de trabajar con equipos que no eleven demasiado la complejidad en el registro y tratamiento de las imágenes, para poder tener resultados siempre en unos tiempos razonables, en busca de la inmediatez. No debemos olvidar, muy vinculado a todo esto, que deben ser equipos de coste razonable e ir de la mano con la innovación. Específicamente en competición podría mejorarse la luminosidad (adelantar la hora de competición).

Sería deseable que esta metodología pudiera aplicarse de forma longitudinal con el objetivo de tener un seguimiento de los mejores lanzadores nacionales. De la misma forma, sería conveniente poder analizar varios atletas internacionales de alto nivel con esta misma metodología, con el objetivo de poder identificar más variables relacionadas con el rendimiento, por ejemplo, el *timing* del lanzamiento, trayectorias del artefacto o posiciones corporales. En la puesta en acción de la metodológica de análisis, para próximas competiciones, habrá que mejorar la coordinación con otros estamentos del atletismo (jueces), así como buscar mayor coordinación con los propios organizadores para obtener situaciones de grabación que doten de mayor calidad a los registros.

Muy importante en el futuro será generar la figura del “técnico de análisis y apoyo al rendimiento”, así como delimitar sus competencias. La aplicación sistemática de programas de análisis y apoyo biomecánico al deportista, dentro de una programación temporal y un seguimiento longitudinal, podría incrementar el rendimiento del deportista.

En el futuro, se deberían buscar situaciones en las que el técnico deportivo de campo y biomecánico puedan confluir con mayor frecuencia, intercambiando informaciones relevantes para el análisis cualitativo y cuantitativo de esta disciplina.

---

## 8. VALORACIÓN PERSONAL Y REFLEXIÓN CRÍTICA

---

La realización de este trabajo fin de máster me ha llevado a afrontar de una manera más profesional mi función como entrenador de atletismo dentro de una estructura federativa y en el desarrollo de las actividades dependientes de esa federación; del mismo modo que con mi grupo de entrenamiento. Creo que las enseñanzas recibidas en el máster, así como el llevar a cabo este trabajo, han hecho que cambie mi visión y valore mucho más las cosas que hago y aquellas que puedo ofrecer.

El paso del tiempo y la rutina quizás hagan que valoren ciertas acciones, o que se conviertan en “normal” ciertas tareas o funciones, sin recapacitar sobre el valor de las mismas. El entrenador que se acomoda en su zona de confort y en los tiempos de continua evolución que nos toca vivir, se pone en marcha por un camino muy peligroso.

La planificación y desarrollo de este trabajo, son un fiel reflejo de aquello que me planteé cuando decidí cursar el máster. Buscaba reciclarme y poder hacer que aquello que tanto me gusta, pueda convertirse realmente en un modo de vida. Para poder conseguirlo, lo primero es empezar a valorarse uno mismo y creer en aquello que se hace, para que luego se lo puedas mostrar a los demás y que también ellos lo puedan valorar.

El camino de este trabajo fin de máster fue muy similar a esto que menciono. Comencé con la idea de que aquello que se estaba haciendo dentro del sector de lanzamientos debía de dar una vuelta de tuerca, ofrecer algo nuevo y diferenciador. Tenía que ser algo a caballo entre el entrenamiento de campo y la biomecánica de laboratorio, algo que fuera práctico y diera a las concentraciones ese elemento diferenciador. Yo creo que el procedimiento era bueno y los entrenadores les pareció bien, por no ser invasivo y facilitar información con relativa velocidad. El resultado final fue la puesta en acción en la competición más importante a nivel nacional. El que se confiará en el sistema quiere decir que puede ser útil e interesante, a pesar de las mejoras que se le deben seguir realizando.

Quizás la parte más crítica sobre todo el proceso sea que al fin y al cabo todo se llevó adelante porque había que realizar este trabajo, junto al compromiso que tengo con este deporte; en ninguna parte estaba reflejado ese carácter “profesional” de la labor que se puso en acción.

En adelante queda demostrar que este tipo de iniciativas y metodologías tienen cabida en los programas de apoyo y análisis del rendimiento. El poder llevarse a la práctica con éxito, de forma sistemática y estable en el tiempo, no debe ser dependiente del buen hacer de las personas; habrá que apostar por dotar al sistema de recursos materiales, pero sobre todo personales. Incluso yo sería partidario de ir un poco más allá y cambiando personales por profesionales.

---

## 9. BIBLIOGRAFÍA

---

- Bartlett, R., Wheat, J., & Robins, M. (2007). Is movement variability important for sports biomechanists? *Sports Biomechanics*, 6(2), 224-243.
- Bermejo, J., Palao, J. M., & López-Elvira, J. L. (2012). Análisis cinemático tridimensional: aspectos metodológicos. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 29, 75-94.
- Chow, J. W., & Knudson, D. V. (2011). Use of deterministic models in sports and exercise biomechanics research. *Sports Biomechanics*, 10(3), 219-233.
- Dapena, J., & Anderst, W. J. (1997). Discus throw# 1 (Men). Report for Scientific Services Project (USATF).
- Dapena, J., LeBlanc, M. K., & Anderst, W. J. (1997). Discus throw# 2 (Women). Report for Scientific Services Project (USATF).
- Ferro Sánchez, A., & Floria Martín, P. (2007). La aplicación de la biomecánica al entrenamiento deportivo mediante los análisis cualitativo y cuantitativo. Una propuesta para el lanzamiento de disco. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 7(3), 49-80.
- Floria, P. (2006). Análisis biomecánico del lanzamiento de disco. Categorización de variables de eficacia de la técnica. Tesis Doctoral. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Floria, P. y Ferro, A. (2006). Biomecánica de la técnica de lanzamiento de disco. Influencia de la trayectoria del disco en la velocidad de liberación. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 5(2), 53-75.
- Hay, J.G. (1993). Discus throw. En, *The biomechanics of sports techniques* (pp. 481-495). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Hay, J. G., & Reid, J. G. (1988). *Anatomy, mechanics and human motion*. Englewood Cliff, NJ: Prentice-Hall.
- Hay, J. G., & Yu, B. (1995). Critical characteristics of technique in throwing the discus. *Journal of Sports Sciences*, 13(2), 125-140.
- Hubbard, M., & Cheng, K. B. (2007). Optimal discus trajectories. *Journal of Biomechanics*, 40(16), 3650-3659.
- Knudson, D., & Morrison, C. S. (2002). *Qualitative analysis of human movement* (2nd edn.). Champaign: Human Kinetics.
- Knudson, D. (2007). *Fundamentals of biomechanics* (4<sup>th</sup> edn.). Springer Science & Business Media.
- Kreighbaum, E. & Barthels, K.M. (1999). *Biomechanics. A Qualitative Approach for Studying Human Movement*, 4th edn. Needham Heights, MA: Allyn and Bacon.
- Leigh, S., Gross, M. T., Li, L., & Yu, B. (2008). The relationship between discus throwing performance and combinations of selected technical parameters. *Sports Biomechanics*, 7(2), 173-193.

Leigh, S., Liu, H., Hubbard, M., & Yu, B. (2010). Individualized optimal release angles in discus throwing. *Journal of Biomechanics*, 43(3), 540-545.

Morante, J.C. & Coque, I. (1996). Organización y ordenación de los contenidos de entrenamiento dentro de la sesión. *Perspectivas de la Actividad Física y el Deporte*, 18: 23-29

Panoutsakopoulos, V. (2008). Biomechanical analysis of the men's discus throw in the Athens 2006 IAAF World Cup in Athletics.

Panoutsakopoulos, V., & Kollias, I. A. (2012). Temporal analysis of elite men's discus throwing technique. *Journal of Human Sport and Exercise*, 7(4), 826-836.

Young, D.C. (2004). Athletic events. En, *A Brief History of the Olympics* (pp. 24-37). Oxford: Blackwell Publishing

Yu, B., Leigh, S., & Liu, H. (2010). Individualized optimal release angle in discus throwing. In *ISBS-Conference Proceedings Archive* (Vol. 1, No. 1), 540-545.

Yu, B., Broker, J., & Silvester, L.J. (2002). A kinetic analysis of discus-throwing techniques. *Sports Biomechanics*, 1, 25-46

Zatsiorski, V. (1990). In vivo body segment inertial parameters determination using gamma-scanner method. *Biomechanics of Human Movement*, 186-202.

---

## 10. ANEXOS

---

**Anexo I** Modelo de informe elaborado en las Concentraciones.

**Anexo II** Modelo de informe elaborado en el Campeonato de España.



# INFORME CONTROL DE CAPACIDAD SECTOR DE LANZAMIENTOS RFEA

**NOMBRE DEL ENTRENADOR RESPONSABLE:**

[Redacted]

**NOMBRE DEL ATLETA:**

[Redacted]

**PRUEBA:**

Lanzamiento de disco.

**CATEGORIA:**

Juvenil

**FECHA:**

6 de Diciembre de 2016

## VALORACIÓN DE LA CONDICIÓN FÍSICA GENERAL Y EVOLUCIÓN EN LA TEMPORADA

Como siempre, progresa y va mejorando sus parámetros de fuerza.

## VALORACIÓN TÉCNICA

**PUNTOS FUERTES:**

Tiene muy clara las ideas y es fácil trabajar con él.  
 Siempre viene con ganas, pero en esta concentración estaba un poco desesperado y le costaba corregir un poco más de lo normal.

**PUNTOS DÉBILES:**

En la salida, no ha levantado el pie derecho del suelo y el hombro izquierdo ya está por delante del punto de apoyo. Además, no trabaja con el pie derecho, simplemente lo levanta del suelo. Ha perdido ya toda la torsión entre hombros y cadera.  
 La pierna derecha va tarde y estirada. Hay que trabajar con e muslo, entrando con la rodilla adelante.

Socio Patrocinador:



Patrocinadores Principales:



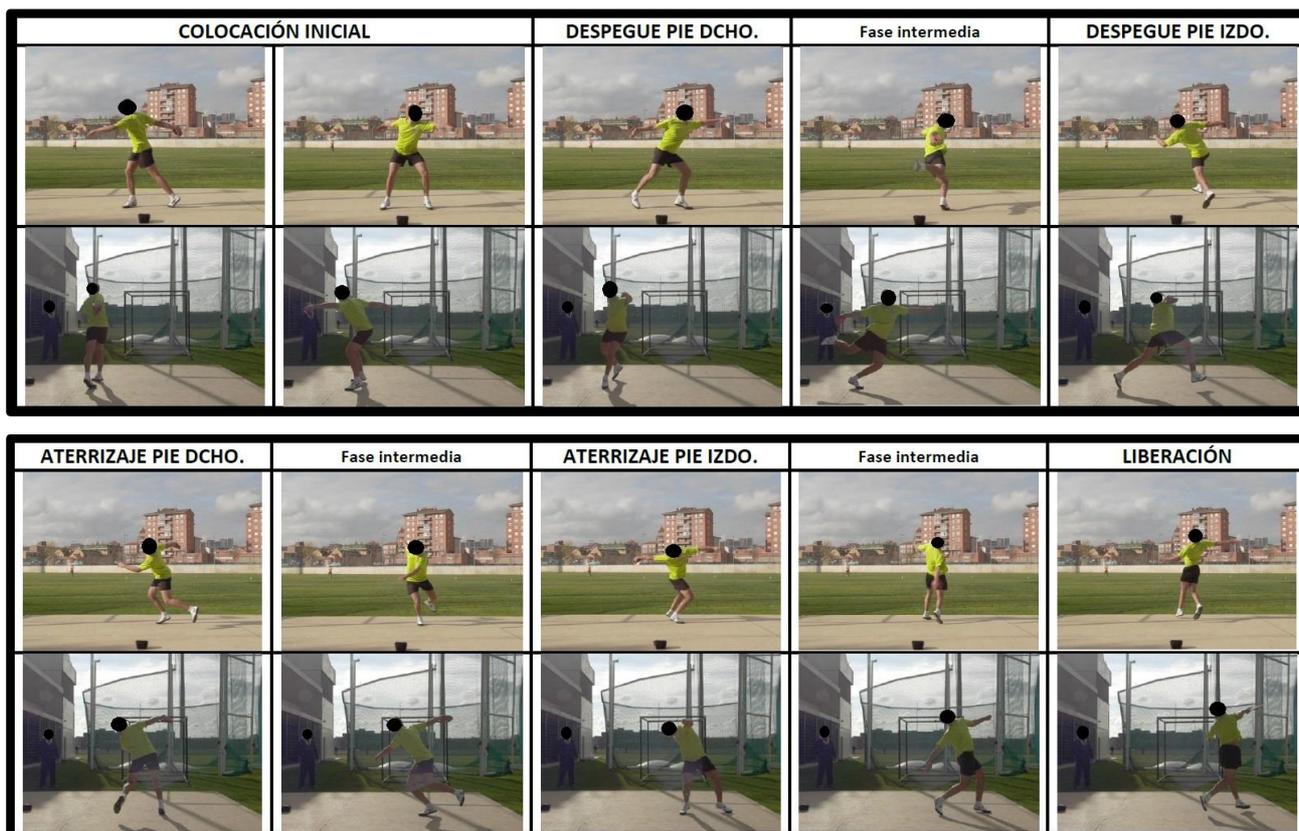
Patrocinadores Oficiales:



Instituciones:



- ❑ Cuando el pie derecho toca con el suelo, está ya muy adelantado y no amortigua con la rodilla, por lo que se queda muy retrasado de hombros y mirando al suelo.
- ❑ Cuando llega el pie izquierdo al suelo este está orientado hacia delante, por lo que ha perdido toda la torsión de la cadera y parte de los hombros. He insistido mucho en eso y creo que es lo que más le ha descolocado durante los entrenamientos.



[VIDEO 1 ANALISIS CUALITATIVO DE LA TÉCNICA](#)

/////

[VIDEO 2 ANALISIS CUALITATIVO DE LA TÉCNICA](#)

## PROPUESTAS DE TRABAJO

1. Quitar la prisa en la salida, y trabajar con ambos pies, especialmente con el derecho desde que el disco llega a la posición más retrasada.
2. Salir con el peso del cuerpo sobre los metatarsos, con el peso del cuerpo en las rodillas, en el tendón rotuliano. El tronco totalmente vertical.
3. Trabajar de forma activa con el pie izquierdo en la salida, para que avance rápido hasta el fondo del círculo y llegue pronto y bien orientado.

Todos los males están en la salida, mejorando en ella, el resto se solucionará.

Socio Patrocinador:

**Joma**

Patrocinadores Principales:

**LaLiga4Sports**

**BRIDGESTONE**

**LOTERÍAS  
CON EL DEPORTE**

Patrocinadores Oficiales:

**KYOCERA**

**GO fit**

**SPORT**

**WATER & GEL**

**MONDO**

**podoactiva**

Instituciones:

**ADO**

## VALORACIÓN BIOMECÁNICA DEL LANZAMIENTO DE DISCO

Cto. España Absoluto de atletismo al aire libre. Barcelona, 22 y 23 de julio de 2017.

### DATOS DEL ATLETA.

Nombre y apellidos:

F. Nac. : 27/06/1992

Modalidad: Lanz. Disco.

Nivel: Internacional Sub 23. MMP: 57,10m (13/06/2016 León CAR) SB: 56,74m (17/07/2017 León CAR).

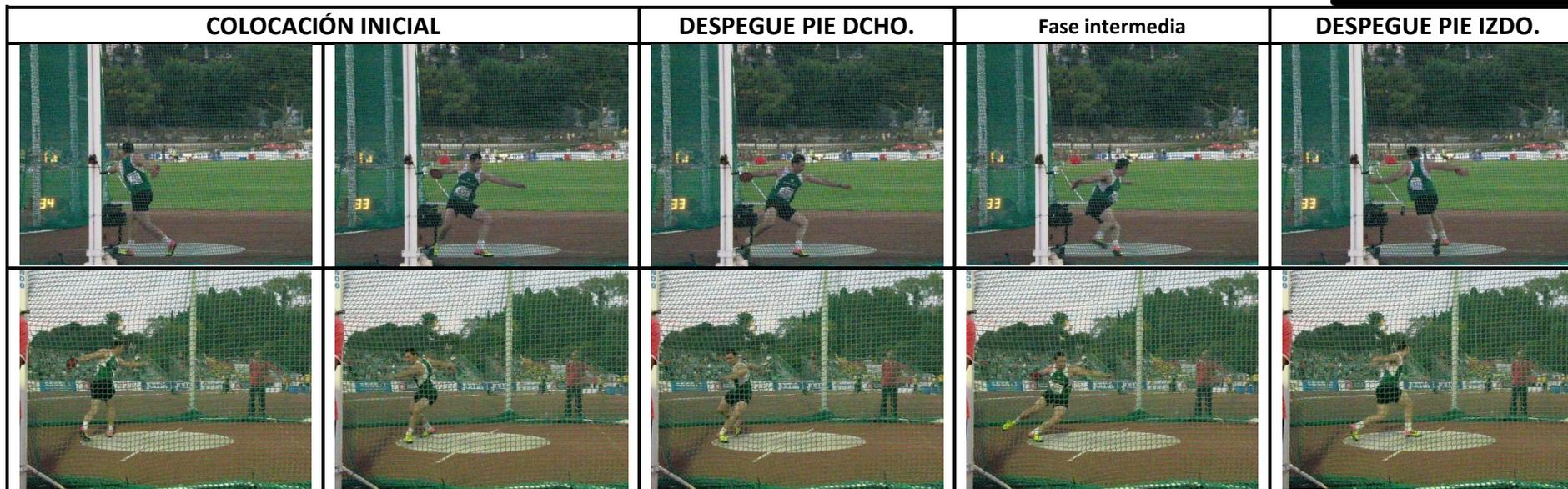
Resultado Cto. España Absoluto 2017. Puesto: 3º Marca: 56,61m (50,75 – 55,64 – 56,15 – 54,58 – 54,74 – 56,61)

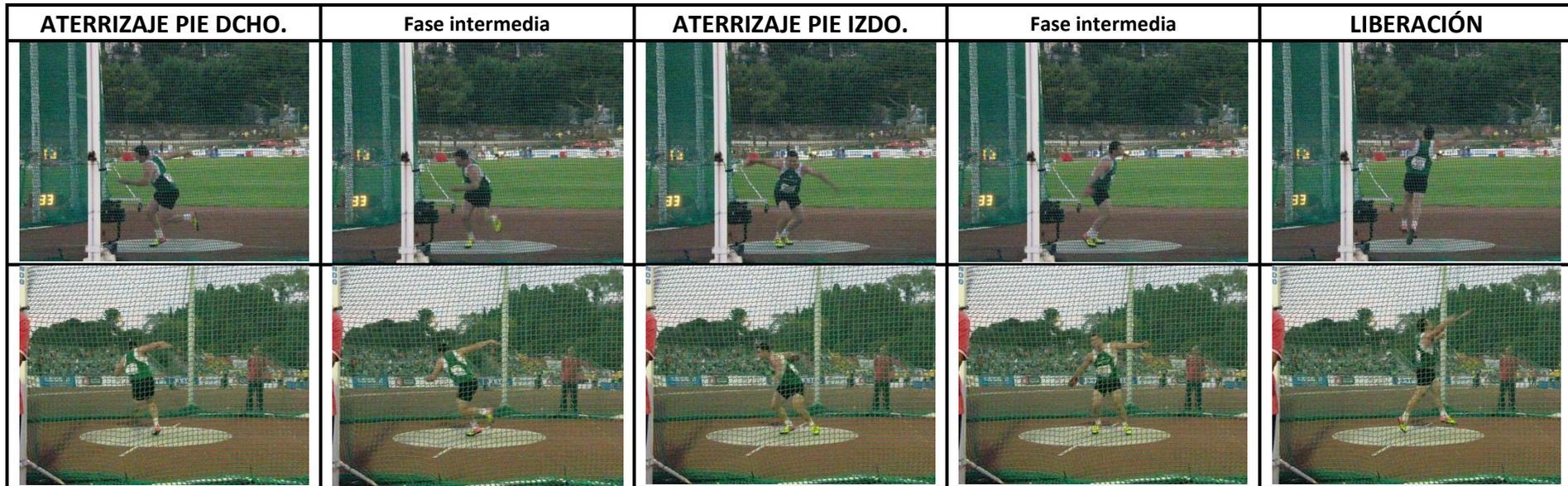
### ANÁLISIS CUALITATIVO. Vídeo.

3º Clasificado 3º Lanzamiento. 56,15m.

### ANÁLISIS CUALITATIVO. Instantes clave del lanzamiento.

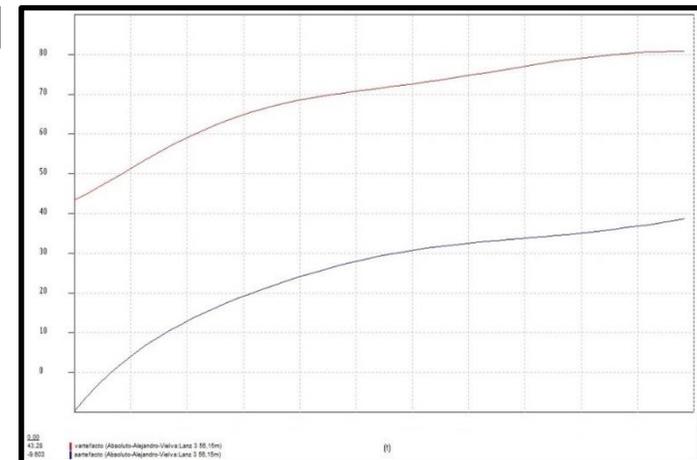
3º Lanzamiento. 56,15m





**ANÁLISIS CUANTITATIVO. Datos numéricos y gráfica de velocidad.**

VARIABLES	1 <sup>er</sup> Intento.	2 <sup>o</sup> Intento.	3 <sup>er</sup> Intento.	4 <sup>o</sup> Intento.
Distancia Oficial (m)	50,75	55,64	56,15	54,58
Velocidad Lanz. (km/h)	80,52	83,01	82,54	83,58
Velocidad Lanz. (m/s)	22,37	23,06	22,93	23,22
Angulo Lanzamiento (°)	32,01	32,28	33,63	35,78
Altura Lanzamiento (m)	1,80	1,69	1,64	1,60
Distancia teórica (m)	48,09	50,89	51,13	53,68



Gráfica. Velocidad y ángulo de lanzamiento 3<sup>er</sup> Intento.

----- Velocidad. ----- Ángulo.