

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

**FACULTAD DE FORMACIÓN DE PROFESORADO Y
EDUCACIÓN**

**ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL LANZAMIENTO DE
DISCO. CATEGORIZACIÓN DE VARIABLES DE
EFICACIA DE LA TÉCNICA**

TESIS DOCTORAL

PABLO FLORÍA MARTÍN

2006

**DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA, DEPORTE Y
MOTRICIDAD HUMANA**

**FACULTAD DE FORMACIÓN DE PROFESORADO Y
EDUCACIÓN**

**ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL LANZAMIENTO DE
DISCO. CATEGORIZACIÓN DE VARIABLES DE
EFICACIA DE LA TÉCNICA**

TESIS DOCTORAL

PABLO FLORÍA MARTÍN

Directora: Dra. Amelia Ferro Sánchez

2006

A mis Padres, por su ejemplo
diario de honestidad, trabajo y
sacrificio

AGRADECIMIENTOS

La realización de la presente tesis doctoral no hubiera sido posible sin la colaboración de grandes personas e instituciones de las que no quisiera olvidarme y dar gracias en este momento.

En primer lugar a Amelia Ferro, por haber dirigido esta Tesis Doctoral. Su sabiduría y generosidad han sido un estímulo durante mi introducción en la investigación científica.

A Alicia Rivera y Miguel Ferreruela, por su constante ayuda y atención.

A la Comisión Interdisciplinar de Ciencia y Tecnología y al Consejo Superior de Deportes por ofrecer su apoyo económico para financiar esta investigación.

A la Real Federación Española de Atletismo y a su responsable de lanzamientos, Carlos Burón, por su apoyo a la investigación, mejorando así el rendimiento deportiva de los atletas.

A Alberto García-Fojeda y a Joan Carles Vàlios por su inestimable ayuda en los diferentes estudios que componen la presente Tesis Doctoral.

A Maribel, Olga, Itzi, Toña, José Luis, Juan y Álvaro en el que a su paso por el Laboratorio de Biomecánica Deportiva han ayudado a que este proyecto saliera adelante.

Finalmente, a todos los que participaron como sujetos. Personas, cuyo esfuerzo y sacrificio desinteresado nos ha permitido aprender.

“No intento bailar mejor que los demás.
Sólo intento bailar mejor que yo mismo”

Mijail Baryshnikov

Resumen

La prueba de lanzamiento de disco es una especialidad atlética en la que se ejecutan, a elevada velocidad, complicados movimientos combinados de traslación y rotación, lo que hace que este gesto posea unas altas demandas físicas y técnicas que resultan determinantes en la consecución de un alto rendimiento. Existe una carencia de conocimientos en la literatura científica que tenga como fin el estudio de la técnica del lanzamiento de disco y, en definitiva, de cómo debe moverse el lanzador en el círculo de lanzamiento para alcanzar la máxima eficacia en el momento de la liberación del artefacto. Dentro del escaso grupo de publicaciones que hacen referencia a la biomecánica del lanzamiento de disco, los conceptos más estudiados y descritos han sido las variables mecánicas en el instante de liberación del disco y el comportamiento de éste en el vuelo. Sin embargo, es escaso el conocimiento de la biomecánica que opera en las fases previas. Por el contrario, son muchos los comentarios y descripciones cualitativas de la técnica del lanzamiento de disco realizadas por técnicos deportivos de renombre dentro de la propia disciplina. El conocimiento de la relación existente entre los comentarios y descripciones cualitativas de la técnica del lanzamiento de disco, realizados por entrenadores y el estudio de las variables biomecánicas que rigen esos movimientos, utilizando los métodos y técnicas de la biomecánica, podría arrojar luz sobre aspectos técnicos desconocidos hasta la fecha. En este estudio se propusieron los siguientes objetivos:

- Identificar las variables biomecánicas de eficacia del lanzamiento de disco y elaborar un cuadro que clasifique, ordene la información y permita la valoración de la técnica de lanzamiento de disco basándose en criterios biomecánicos.
- Realizar un análisis biomecánico de la técnica de lanzamiento de disco en los mejores atletas de alto nivel seleccionados por la Real Federación Española de Atletismo para obtener datos de referencia que puedan ser incluidos en el *Cuadro de Variables de Eficacia* para su posterior consulta y valoración.

Para realizar este trabajo fue necesario:

- Poner a punto una metodología de análisis cinemático tridimensional utilizando técnicas de fotogrametría cine de alta velocidad.

La muestra de sujetos estuvo formada por ocho hombres y cinco mujeres todos ellos atletas seleccionados por la Real Federación Española de Atletismo. Se analizaron un total de veinticinco lanzamientos realizados en cuatro campeonatos nacionales y uno internacional. Se realizó un análisis cinemático tridimensional utilizando cámaras de cine de alta velocidad que filmaron a 100 Hz. Las imágenes fueron digitalizadas mediante el programa *Fotogram-IBV* utilizando veinticinco marcadores que fueron implementados en un modelo alámbrico. Para el análisis de las variables se diseñaron algoritmos y se desarrolló una rutina de cálculo denominada *BioDisc*. Así mismo, se desarrolló una base de datos (*SIB*) y una aplicación informática (*SIBDisco*) para la ordenación de los datos y la realización de las consultas. Con el objeto de estudiar las asociaciones entre variables de eficacia estudiadas se aplicó el coeficiente de correlación de *Pearson* ponderado. De cada lanzamiento se calcularon ochenta y una variables cinemáticas de eficacia de la técnica que se organizaron en variables previas y posteriores a la liberación del disco. Las variables previas a la liberación fueron once temporales, cincuenta y cuatro espaciales y once espacio – temporales y las variables posteriores a la liberación fueron cinco espaciales. El análisis biomecánico del lanzamiento de disco y la identificación de sus variables de eficacia en un cuadro que las clasifica y ordena de acuerdo a una secuencia temporal lógica y siguiendo las pautas más novedosas del proceso de entrenamiento puede proporcionar a los técnicos deportivos una herramienta de trabajo útil para valorar la técnica de esta disciplina y una ayuda inestimable en su labor. El estudio de la asociación entre variables de eficacia ha permitido clarificar la biomecánica que opera en la ejecución del lanzamiento de disco. Con la conclusión de esta tesis se han abierto nuevas líneas de investigación enfocadas a incidir en el modelo de trabajo *Entrenador – Biomecánico* que permite profundizar en el análisis de la técnica deportiva de otros deportes y especialidades.

PALABRAS CLAVE

Biomecánica, cinemática, lanzamiento de disco, pruebas de atletismo, alto rendimiento deportivo, fotogrametría.

Índice

Índice

1 Introducción.....	1
1.1 Antecedentes del estudio.....	1
1.2 Objetivos de la tesis	3
1.2.1 Generales.....	3
1.2.2 Específicos	4
1.3 Plan de trabajo.....	5
2 Revisión bibliográfica	9
2.1 Perfil de la búsqueda y extensión	9
2.2 Fuentes bibliográficas	10
2.3 Recuperación de la información y agrupación de los trabajos	11
2.4 Estado de conocimientos sobre la biomecánica del lanzamiento de disco	13
2.4.1 Análisis biomecánico cualitativo y principios biomecánicos del lanzamiento de disco	17
2.4.2 Evolución histórica de la técnica del lanzamiento de disco	25
2.4.3 La técnica actual del lanzamiento de disco	28
2.4.3.1 Distribución temporal de las fases	41
2.4.3.2 Selección del disco	42
2.4.3.3 Agarre del disco	43
2.4.3.4 Posición inicial y balanceos previos.....	45
2.4.3.5 Fase de Primer Apoyo Doble	50
2.4.3.6 Fase de Primer Apoyo Simple	57
2.4.3.7 Fase de Vuelo.....	69
2.4.3.8 Fase de Segundo Apoyo Simple.....	75
2.4.3.9 Fase de Segundo Apoyo Doble	89
2.4.3.10 Recobro	106
2.4.3.11 Vuelo del disco.....	108
2.4.4 Métodos de valoración de la técnica del lanzamiento de disco	116

2.5 Justificación	121
3 Material y métodos	127
3.1 Diseño del cuadro de indicadores de eficacia	127
3.2 Descripción de la muestra seleccionada	131
3.3 Técnicas instrumentales y material utilizado	132
3.3.1 Descripción de los equipos	134
3.3.1.1 Equipo para el registro de imágenes	134
3.3.1.2 Equipo para el tratamiento de los datos y generación de resultados	136
3.3.2 Condiciones de uso	137
3.4 Diseño experimental y técnicas de tratamiento de datos	138
3.4.1 Diseño de experiencias	138
3.4.2 Desarrollo de experiencias	141
3.4.2.1 Preparación de los equipos	141
3.4.2.2 Frecuencias de muestreo	143
3.4.2.3 Instalación de los equipos en el campo	143
3.4.2.4 Desarrollo de la prueba	145
3.4.3 Método de tratamiento de datos	146
3.4.3.1 Procesamiento de las películas	147
3.4.3.2 Obtención y tratamiento de los datos	148
3.4.4 Generación de resultados	162
3.4.4.1 Variables previas a la liberación	164
3.4.4.2 Variables tras la liberación	181
3.4.5 Método de tratamiento de resultados	183
4 Resultados y discusión	187
4.1 Cuadro de indicadores de eficacia	187
4.2 Descripción biomecánica del modelo técnico	245
4.2.1 Fase de Vuelo	246

4.2.2 Fase de Segundo Apoyo Simple	256
4.2.3 Fase de Segundo Apoyo Doble.....	275
4.2.4 Vuelo del disco	297
5 Conclusiones	305
5.1 Conclusiones relacionadas con aspectos metodológicos	305
5.2 Conclusiones sobre los resultados del estudio y su discusión.....	306
5.3 Proyección de los resultados del estudio y futuras líneas de trabajo	311
6 Bibliografía.....	315

ABREVIATURAS UTILIZADAS

h_{DISCO}	Altura del disco.
$h_{DISCOlib}$	Altura del disco en el instante de liberación.
$h_{DISCOmax(SAS)}$	Altura máxima del disco en la Fase de Segundo Apoyo Simple.
$h_{DISCOmin(SAD)}$	Altura mínima del disco en la Fase de Segundo Apoyo Doble.
$\theta_{ap_TRONCOlib}$	Ángulo de flexo-extensión del tronco en el instante de liberación.
$\Theta_{ml_TRONCOlib}$	Ángulo de inclinación mediolateral del tronco en el instante de liberación.
$\Theta_{DISCOlib}$	Ángulo de liberación del disco.
Θ_{CAD_d}	Ángulo de la cadera derecha (lado ejecutor).
Θ_{CAD_i}	Ángulo de la cadera izquierda (lado libre).
Θ_{ROD_d}	Ángulo de la rodilla derecha (lado ejecutor).
$\theta_{ROD_d(hdisco_min)}$	Ángulo de la rodilla derecha en el instante de altura mínima del disco.
Θ_{ROD_i}	Ángulo de la rodilla izquierda (lado libre).
$\theta_{ROD_i(lib)}$	Ángulo de la rodilla izquierda en el instante de liberación.
Θ_{HOMB_d}	Ángulo del hombro derecho (lado ejecutor).
$\theta_{HOMB_d(hdisco_max)}$	Ángulo del hombro derecho en el instante de altura máxima del disco.
$\theta_{HOMB_d(hdisco_min)}$	Ángulo del hombro derecho en el instante de altura mínima del disco.
$\theta_{HOMB_d(lib)}$	Ángulo del hombro derecho en el instante de liberación.
Θ_{HOMB_i}	Ángulo del hombro izquierdo (lado libre).
θ_{CAD_PIES}	Ángulo entre el eje de caderas y la línea de pies.
$\theta_{CAD_PIES_{APD}}$	Ángulo entre el eje de caderas y la línea de pies en el instante de apoyo del pie derecho.
$\theta_{CAD_PIESlib}$	Ángulo entre el eje de caderas y la línea de pies en el instante de liberación del disco.
$\theta_{CAD_PIES_{\theta_BRAZO_PIESmax}}$	Ángulo entre el eje de caderas y la línea de pies en el instante en el que el ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y la línea de pies es máximo.
$\theta_{CAD_PIES_{MAX}}$	Ángulo entre el eje de caderas y la línea de pies máximo.
θ_{HOMB_CAD}	Ángulo entre el eje de hombros y el eje de caderas.
$\theta_{HOMB_CAD_{APD}}$	Ángulo entre el eje de hombros y el eje de caderas en el instante de apoyo del pie derecho.

$\theta_{\text{HOMB_CAD}}_{\text{lib}}$	Ángulo entre el eje de hombros y el eje de caderas en el instante de liberación del disco.
$\theta_{\text{HOMB_CAD}}_{\theta_{\text{BRAZO_PIESmax}}}$	Ángulo entre el eje de hombros y el eje de caderas en el instante en el que el ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y la línea de pies es máximo.
$\theta_{\text{HOMB_CAD}}_{\text{MAX}}$	Ángulo entre el eje de hombros y el eje de caderas máximo.
$\theta_{\text{HOMB_PIES}}$	Ángulo entre el eje de hombros y la línea de pies.
$\theta_{\text{HOMB_PIES}}_{\text{APD}}$	Ángulo entre el eje de hombros y la línea de pies en el instante de apoyo del pie derecho.
$\theta_{\text{HOMB_PIES}}_{\text{lib}}$	Ángulo entre el eje de hombros y la línea de pies en el instante de liberación del disco.
$\theta_{\text{HOMB_PIES}}_{\theta_{\text{BRAZO_PIESmax}}}$	Ángulo entre el eje de hombros y la línea de pies en el instante en el que el ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y la línea de pies es máximo.
$\theta_{\text{HOMB_PIES}}_{\text{MAX}}$	Ángulo entre el eje de hombros y la línea de pies máximo.
$\theta_{\text{BRAZO_CAD}}$	Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de caderas.
$\theta_{\text{BRAZO_CAD}}_{\text{APD}}$	Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de caderas en el instante de apoyo del pie derecho.
$\theta_{\text{BRAZO_CAD}}_{\text{lib}}$	Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de caderas en el instante de liberación del disco.
$\theta_{\text{BRAZO_CAD}}_{\theta_{\text{BRAZO_PIESmax}}}$	Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de caderas en el instante en el que el ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y la línea de pies es máximo.
$\theta_{\text{BRAZO_CAD}}_{\text{MAX}}$	Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de caderas máximo.
$\theta_{\text{BRAZO_HOMB}}$	Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de hombros.
$\theta_{\text{BRAZO_HOMB}}_{\text{APD}}$	Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de hombros en el instante de apoyo del pie derecho.
$\theta_{\text{BRAZO_HOMB}}_{\text{lib}}$	Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de hombros en el instante de liberación del disco.
$\theta_{\text{BRAZO_HOMB}}_{\theta_{\text{BRAZO_PIESmax}}}$	Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de hombros en el instante en el que el ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y la línea de pies es máximo.
$\theta_{\text{BRAZO_HOMB}}_{\text{MAX}}$	Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de hombros máximo.
$\theta_{\text{BRAZO_PIES}}$	Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y la línea de pies.
$\theta_{\text{BRAZO_PIES}}_{\text{APD}}$	Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y la línea de pies en el instante de apoyo del pie derecho.
$\theta_{\text{BRAZO_PIES}}_{\text{lib}}$	Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y la línea de pies en el instante de liberación del disco.

$\theta_{\text{BRAZO_PIES}}_{\text{MAX}}$	Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y la línea de pies máximo.
$\theta_{\text{PIES_DLAN}}_{\text{lib}}$	Ángulo entre la línea de pies y la dirección de lanzamiento del disco en el instante de liberación.
APD	Apoyo pie derecho. Inicio fase 4.
API	Apoyo pie izquierdo. Inicio fase 5.
DPD	Despegue pie derecho. Inicio fase 2.
DPI	Despegue pie izquierdo. Inicio fase 3.
$\Delta_{\text{h}}_{\text{DISCOmin(SAD)}-\text{h}_{\text{DISCOlib}}$	Diferencia de altura entre los instantes de mínimo valor en la <i>Fase de Segundo Apoyo Doble</i> y de liberación.
d_A	Distancia aerodinámica.
d_V	Distancia de vuelo.
$d_{\text{h_META}}_{\text{d(lib)}-\text{META}}_{\text{i(lib)}}$	Distancia horizontal desde el marcador metatarso derecho al punto articular metatarso izquierdo en el instante de liberación del disco
$d_{\text{h_META}}_{\text{d(APD)}-\text{CC}}$	Distancia horizontal desde el marcador metatarso del pie derecho hasta el centro del círculo en el inicio de la Fase de Segundo Apoyo Doble.
$d_{\text{h_META}}_{\text{i(lib)}-\text{PC}}$	Distancia horizontal desde el marcador metatarso izquierdo al perímetro del círculo de lanzamiento en el instante de liberación del disco.
d_A	Distancia aerodinámica.
d_V	Distancia de vuelo.
d_O	Distancia oficial del lanzamiento.
d_P	Distancia perdida.
d_{TB}	Distancia teórica balística.
CARICD	Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte.
CSD	Consejo Superior de Deportes.
PAD	Fase de Primer Apoyo Doble.
PAS	Fase de Primer Apoyo Simple.
SAD	Fase de Segundo Apoyo Doble.
SAS	Fase Segundo Apoyo Simple.
$\Delta_{\text{V}}_{\text{disco(SAS)}}$	Incremento de velocidad del disco durante la Fase de Segundo Apoyo Simple.
$\Delta_{\text{V}}_{\text{disco(SAD)}}$	Incremento de velocidad del disco durante la Fase de Segundo Apoyo Doble.
IBV	Instituto de Biomecánica de Valencia.

$\Delta t_{\theta_CAD_PIES_{MAX-API}}$	Intervalo de tiempo entre el instante de ángulo máximo de torsión entre el eje de caderas y la línea de pies y el apoyo del pie izquierdo.
$\Delta t_{\theta_HOMB_CAD_{MAX-API}}$	Intervalo de tiempo entre el instante de ángulo máximo de torsión entre el eje de hombros y el eje de caderas y el apoyo del pie izquierdo.
$\Delta t_{\theta_HOMB_PIES_{MAX-API}}$	Intervalo de tiempo entre el instante de ángulo máximo de torsión entre el eje de hombros y la línea de pies y el apoyo del pie izquierdo.
$\Delta t_{\theta_BRAZO_CAD_{MAX-API}}$	Intervalo de tiempo entre el instante de ángulo máximo de torsión entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de caderas y el apoyo del pie izquierdo.
$\Delta t_{\theta_BRAZO_HOMB_{MAX-API}}$	Intervalo de tiempo entre el instante de ángulo máximo de torsión entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de hombros y el apoyo del pie izquierdo.
$\Delta t_{\theta_BRAZO_PIES_{MAX-API}}$	Intervalo de tiempo entre el instante de ángulo máximo de torsión entre la línea del miembro superior ejecutor y la línea de pies y el apoyo del pie izquierdo.
T_PAD	Tiempo de la Fase de Primer Apoyo Doble.
T_PAS	Tiempo de la Fase de Primer Apoyo Simple.
T_SAD	Tiempo de la Fase de Segundo Apoyo Doble.
T_SAS	Tiempo de la Fase de Segundo Apoyo Simple.
T_VUELO	Tiempo de la Fase de Vuelo.
V_{disco}	Velocidad del disco.
$V_{DISCO(API)}$	Velocidad del disco en el instante de apoyo del pie izquierdo.
$V_{DISCOlib}$	Velocidad del disco en el instante de liberación.
V_{CADd}	Velocidad de la cadera del lado ejecutor.
V_{HOMBd}	Velocidad del hombro del lado ejecutor.
$V_{xyDISCO}$	Velocidad horizontal del disco.
$V_{xyDISCOlib}$	Velocidad horizontal del disco en el instante de liberación.
V_{ZDISCO}	Velocidad vertical del disco.
$V_{ZDISCOlib}$	Velocidad vertical del disco en el instante de liberación.

Introducción

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

La tesis doctoral titulada “*Análisis biomecánico del lanzamiento de disco. Categorización de variables de eficacia de la técnica*” es fruto de la labor de varios proyectos de investigación. El proyecto inicial surgió a partir de varias iniciativas protagonizadas por los grupos de españoles de biomecánica. La primera de ellas fue una reunión celebrada en Valencia y organizada por el Instituto de Biomecánica de Valencia e impulsada por el Consejo Superior de Deportes en el año 1991. Dicha reunión tuvo como objetivos analizar la situación española de los grupos de investigación en biomecánica y dotarlos de infraestructuras y recursos humanos para acometer proyectos de investigación. Paralelamente, este grupo realizó un análisis de las demandas de las Federaciones Deportivas Españolas en materia de biomecánica. El objetivo era analizar la situación real entre la oferta y la demanda de servicios deportivos.

Posteriormente, como resultado de esta jornada, el Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte (CARICD) organizó en 1993 la *I Jornada de Biomecánica Aplicada al Deporte* con el objetivo de reunir a los grupos de investigación y responsables de los equipos técnicos federativos para unir intereses comunes y servir de nexo de relación.

En la siguiente jornada celebrada en Valencia en 1993, el Instituto de Biomecánica de Valencia propuso a los grupos de investigadores trabajar en un proyecto coordinado de lanzamientos atléticos. Cinco grupos manifestaron su interés y se comprometieron a compartir un plan de trabajo y perspectivas comunes. Estos grupos fueron la Universidad de León estudiando el lanzamiento de peso, la Universidad de Granada estudiando el lanzamiento de martillo, la Universidad de Valencia estudiando el lanzamiento de jabalina y la Universidad de Lérida junto con la Unidad de Biomecánica Deportiva del CARICD estudiando el lanzamiento de disco. La propuesta fue muy bien acogida por la Real Federación Española de Atletismo que mostró su apoyo. Los citados grupos de investigación presentaron un proyecto coordinado al *Plan Nacional de I+D* convocado por la Comisión

Interministerial de Ciencia y Tecnología en 1994 cuyo título fue “*Análisis biomecánico de la técnica individual de los lanzamientos atléticos (disco, jabalina, martillo y peso)*” (SAF-95-0721-CO4-03). Dicho proyecto fue concedido y se desarrolló durante los años 1995 y 1998 con el objetivo principal de identificar y cuantificar las variables de eficacia de la técnica individual de lanzamiento de los mejores especialistas utilizando técnicas de análisis cinemático tridimensional. Como se ha citado anteriormente, los grupos de la Universidad de Lérida y la Unidad de Biomecánica Deportiva del CARICD se encargaron de estudiar el lanzamiento de disco en el subproyecto titulado “*Análisis biomecánico de la técnica individual de los mejores lanzadores de disco de la Real Federación Española de Atletismo*”.

Paralelamente al desarrollo de este proyecto el Consejo Superior de Deportes, en convocatoria pública y competitiva financió sucesivos proyectos desde 1995 hasta 2002 (21/SUB/95; 04/SUII/96; 07/UNI/22/97; 01/UPR10/00; 02/UPR10/02). Por otra parte, la Dirección General de Enseñanza Superior e Investigación Científica del Ministerio de Educación y Cultura en la convocatoria 1999 – 2000 concedió un acción especial para desarrollar el proyecto titulado “*Análisis biomecánico de los lanzamientos y carreras de velocidad en el Campeonato del Mundo de Atletismo al Aire Libre, Sevilla’99*” (R-AE-310599-CTI99-1255-E). Los anteriores proyectos tuvieron como objetivo analizar la técnica individual de los mejores lanzadores de disco realizando además un seguimiento de su técnica en concentraciones y competiciones nacionales e internacionales, a modo de servicio prestado a la Real Federación Española de Atletismo. Para el desarrollo de los estos proyectos de investigación trabajaron desde un principio de forma conjunta el Laboratorio de Valoración Mecánica del I.N.E.F.C. de Lérida y la Unidad de Biomecánica Deportiva del CARICD; más tarde, a partir del año 2000, se unió al grupo de trabajo la Universidad Europea de Madrid. Los resultados parciales de estos proyectos se presentaron en las ediciones II, III y IV de las *Jornadas de Biomecánica Aplicada al Deporte* (1995, 1997 y 1999) que sirvieron como foro de reunión de los grupos españoles de investigación en biomecánica y las federaciones deportivas.

Por otra parte, la Unidad de Biomecánica Deportiva del CARICD tiene como objeto proporcionar apoyo biomecánico a los deportistas de alto nivel pertenecientes a las federaciones deportivas españolas. Consecuentemente la responsable de la unidad se planteó un objetivo más ambicioso con el que se pretendía establecer un puente

entre biomecánicos y técnicos deportivos (entrenadores). Como requisito era necesario conocer la relación existente entre los comentarios y descripciones cualitativas de los técnicos deportivos de los gestos deportivos y las variables biomecánicas asociadas a esos movimientos. Dicho conocimiento proporcionaría un nexo de unión entre el lenguaje de los técnicos deportivos y la biomecánica, necesario para la valoración adecuada y específica de las necesidades reales de los técnicos que a diario entrenan a los deportistas.

Todo lo anterior impulsó a elaborar la presente tesis que junto a los proyectos iniciados en 1995 pretende la identificación de las variables biomecánicas de eficacia del lanzamiento de disco elaborando un cuadro que clasifique, ordene la información y permita la valoración de la técnica mediante la cuantificación de dichas variables. Dicho cuadro recopilaría por un lado los datos cuantitativos procedentes de los estudios biomecánicos de la bibliografía y por otro lado los datos de los análisis realizados en la tesis.

Como punto de partida para abordar esta tesis se tuvo que agrupar todos los datos procedentes de los proyectos anteriores de una forma ordenada y práctica que permitiese la consulta de éstos de una forma sencilla y eficaz además de facilitar el cálculo de nuevas variables biomecánicas.

Se ha de poner de manifiesto que el espíritu de esta tesis se encuentra en el de acercar los principios de biomecánica deportiva al lenguaje en el cual se comunican la gran mayoría de técnicos deportivos y atletas, intentando dar solución a los problemas planteados por éstos. Este espíritu es el que se ha defendido a lo largo de catorce años en la Unidad de Biomecánica Deportiva del CARICD, al amparo del cual se ha realizado la presente tesis.

1.2 OBJETIVOS DE LA TESIS

1.2.1 GENERALES

- Identificar las variables de eficacia del lanzamiento de disco y elaborar un cuadro que clasifique, ordene la información y permita la valoración de la técnica de lanzamiento de disco basándose en criterios biomecánicos.

- Realizar un análisis biomecánico de la técnica de lanzamiento de disco en los atletas de alto nivel de la Real Federación Española de Atletismo para obtener datos de referencia.

1.2.2 ESPECÍFICOS

Los objetivos que se derivan de manera directa en la consecución de estos objetivos generales son:

- Recopilar la información sobre la técnica de lanzamiento de disco que se halla dispersa en la literatura científica, por un lado, los estudios biomecánicos realizados con sofisticadas técnicas instrumentales y, por otro, los análisis publicados por los técnicos deportivos basados en métodos de observación cualitativos.
- Llevar a cabo una puesta a punto de un método de análisis cinemático tridimensional utilizando técnicas de fotogrametría cine de alta velocidad.
- Identificar las variables de eficacia que definen la biomecánica del lanzamiento de disco.
- Diseñar un cuadro que relacione los aspectos técnicos, utilizados por los técnicos deportivos en la mejora del rendimiento, con los indicadores de eficacia biomecánicos con el fin de establecer un nexo técnico deportivo – biomecánico que permita el aprovechamiento de los resultados.
- Analizar la biomecánica de la técnica de los mejores lanzadores y lanzadoras de disco de alto nivel españoles en competiciones nacionales e internacionales.
- Clarificar la biomecánica que opera en la ejecución del lanzamiento de disco estableciendo relaciones entre las variables de eficacia.
- Elaborar una base de datos que nos permita disponer de valores de referencia de atletas de alto nivel para su aplicación y uso en la mejora del rendimiento de otros lanzadores de disco.

- Abrir una línea de investigación que incida en el modelo de trabajo técnico deportivo – biomecánico que permita profundizar en el análisis de la técnica de lanzamiento.

1.3 PLAN DE TRABAJO

En una primera etapa se procedió al planteamiento del problema ubicándolo dentro del contexto de las relaciones técnico deportivo – biomecánica y, por otro lado, del análisis biomecánico del lanzamiento de disco. Seguidamente se procedió a realizar una revisión bibliográfica del tema para conocer su estado y así detectar las carencias y plantear los objetivos de la tesis.

El diseño experimental fue detenidamente estudiado con el fin de que los objetivos propuestos pudiesen ser cubiertos y se detalló el método de trabajo a seguir.

La etapa experimental del proyecto consistió en el registro de datos cinemáticos por medio de la filmación de diferentes competiciones oficiales de carácter nacional e internacional.

Las filmaciones obtenidas se trataron en el laboratorio de biomecánica para obtener las coordenadas tridimensionales de cada lanzamiento analizado que constituirían los datos brutos. Se diseñó un *Cuadro de Indicadores de Eficacia* que relacionaba los aspectos técnicos destacados por los técnicos deportivos en la bibliografía consultada con las variables biomecánicas que los cuantifican. Se desarrolló una rutina de cálculo que obtenía los valores de las variables biomecánicas que constituirían los resultados. Éstos fueron ordenados en una base de datos crea para este cometido con objeto de ser presentados de forma comprensible y clara y preparados para el análisis estadístico.

Los resultados finales, contrastados con los de la bibliografía, permitieron realizar una discusión y extraer unas conclusiones que darían respuesta a los objetivos planteados inicialmente. Sólo cuando éstos últimos fueron satisfechos se dio por finalizado el proyecto de investigación.

Con el desarrollo de este proyecto se han abierto nuevas expectativas y líneas de trabajo para un futuro.

En la figura 1.1 se detallan las distintas etapas del plan de trabajo.

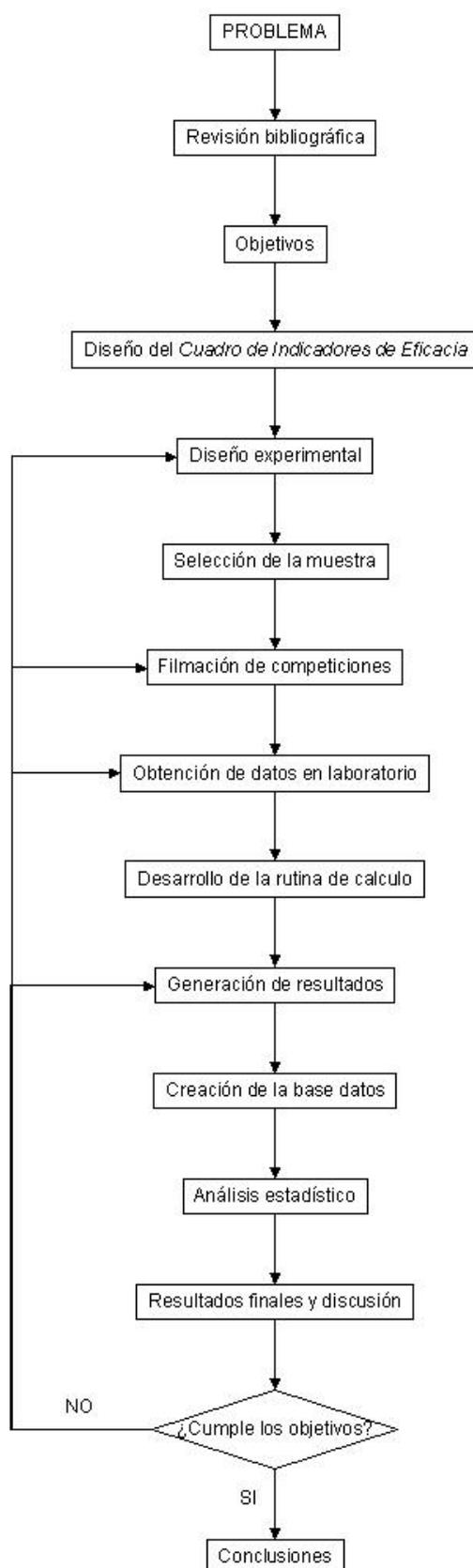


Figura 1.1. Plan de trabajo.

Revisión bibliográfica

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El primer paso del estudio fue realizar una revisión bibliográfica que ha permitido poner de manifiesto el estado de conocimientos de la técnica del lanzamiento de disco y destacar las carencias encontradas en la literatura científica. El método seguido en la revisión consistió en:

- Trazar el perfil de la búsqueda, identificando los temas relacionados con el proyecto y la extensión de la misma.
- Acudir a las fuentes documentales para hacer las consultas.
- Recuperar la información dispersa en bibliotecas y centros documentales.
- Agrupar los trabajos por temas para su posterior estudio.
- Poner de manifiesto el estado de conocimientos.
- Detectar las carencias de conocimientos que justifican el trabajo.

2.1 PERFIL DE LA BÚSQUEDA Y EXTENSIÓN

Las palabras clave seleccionadas para realizar la búsqueda fueron las siguientes:

- Biomecánica del lanzamiento de disco.
- Biomecánica de los lanzamientos atléticos.
- Biomecánica de los lanzamientos en general.
- Lanzamiento de disco, técnica y entrenamiento.
- Métodos de investigación biomecánica.
- Técnicas de análisis y tratamiento de datos y resultados biomecánicos.

La extensión de la búsqueda, el idioma y el nivel fueron los siguientes:

- AÑOS: 1975 – 2006. Además, se seleccionaron artículos más antiguos por su interés.
- IDIOMAS: Inglés, francés, alemán, italiano y español.
- NIVEL: alto e intermedio.

2.2 FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

- Bases informatizadas:
 - SportDiscus.
 - Heracles.
 - Base de datos bibliográficos de la Unidad de Biomecánica Deportiva del Centro de Alto Rendimiento y de Investigación y Ciencias del Deporte perteneciente al Consejo Superior de Deportes de Madrid.
- Internet
 - Coache's Information Service: <http://www.coachesinfo.com>.
 - GOOGLE: <http://www.google.com>.
 - SPONET: <http://www.sponet.de>.
 - TESEO: <http://www.mcu.es/TESEO/teseo.html>.
 - PUBMED: <http://www.pubmed.gov>.
 - International Society of Biomechanics in Sport: <http://www.twu.edu/biom/isbs>.
 - International Society of Biomechanics: <http://www.isbweb.org>.
- Centros de Documentación:
 - Hemeroteca del Centro de Alto Rendimiento y de Investigación y Ciencias del Deporte de Madrid.

- Hemeroteca del Instituto Nacional de Educación Física de Madrid.
- Hemeroteca de la Escuela Nacional de Entrenadores de Atletismo de Madrid.
- Otros centros de documentación:
 - Hemeroteca del Instituto de Biomecánica de Valencia.
 - Hemeroteca del Instituto Nacional de Educación Física de Lérida.
- Otras fuentes:
 - Selecciones bibliográficas de revistas (por ejemplo: Schiffer, 2003).
 - Citas bibliográficas de los artículos y libros consultados.
 - Información recogida en Congresos, Simposios y reuniones de trabajo.
 - Información no documental, basada en la experiencia de los distintos grupos españoles de investigación en biomecánica deportiva.

2.3 RECUPERACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y AGRUPACIÓN DE LOS TRABAJOS

Los trabajos se agruparon por temas. Cada uno de ellos ha servido para obtener información fundamentalmente de los aspectos detallados a continuación:

- Biomecánica del lanzamiento de disco:
 - Información del estado de conocimientos sobre el objetivo principal del trabajo.
 - Metodología. Técnicas instrumentales y técnicas de tratamiento de datos y resultados.
 - Discusión de resultados y elaboración de conclusiones.
- Técnica del lanzamiento de disco:

- Información del estado de conocimientos sobre la técnica actual del lanzamiento de disco.
- Discusión de resultados y elaboración de conclusiones.
- Secuencias fotográficas del lanzamiento de disco:
 - Análisis de la técnica del lanzamiento de disco basada en aspectos utilizados por técnicos deportivos para valorar la ejecución de los atletas.
- Historia del lanzamiento de disco:
 - Información del estado de conocimientos sobre la historia del lanzamiento de disco desde la época griega hasta la actualidad.
- Artículos generales del lanzamiento de disco:
 - Información del estado de conocimientos sobre la técnica actual del lanzamiento de disco.
 - Discusión de resultados y elaboración de conclusiones.
- Análisis cuantitativo en biomecánica deportiva:
 - Información del fundamento de las técnicas usadas en el trabajo de investigación.
 - Otras técnicas similares a las usadas.
- Análisis cualitativo en biomecánica deportiva:
 - Información del fundamento de las técnicas usadas.
- Métodos y técnicas de recogida y tratamiento de los datos y resultados:
 - Metodología, diseño experimental.
 - Fundamento de los métodos de tratamiento de datos.
 - Diferentes estructuras de presentación de resultados.
 - Métodos de tratamiento estadístico de resultados y presentaciones.

- Modelos mecánicos:
 - Información de los modelos utilizados en biomecánica deportiva.

2.4 ESTADO DE CONOCIMIENTOS SOBRE LA BIOMECÁNICA DEL 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. En dicha prueba se ejecutan complicados movimientos a alta velocidad con una alta limitación del espacio, requiriendo unas altas demandas físicas y técnicas (Hay y Yu, 1995a; Yu y cols. 2002).

El objetivo final, por tanto, es lanzar el disco a la máxima distancia; para ello es necesario que el disco, en el instante de su liberación, tenga la mayor velocidad posible; mientras se controla su trayectoria e inclinación con el objetivo de que resulte un vuelo eficiente (Silvester, 1988; Silvester y McCoy, 1995).

En las habilidades donde el objetivo principal es maximizar la distancia de lanzamiento, como es el caso del lanzamiento de disco, la fuerza aplicada al objeto es de crucial importancia para incrementar su velocidad (Bartlett, 2000b). Consecuentemente, el lanzador debe concentrarse en aplicar la mayor cantidad de fuerza al disco para proyectarlo lo más lejos posible sin tener que tomar decisiones rápidas provocadas por cambios producidos en el entorno, tratándose por tanto, de una tarea cerrada (Kreighbaum y Barthels, 1999).

Una masa grande del lanzador y unas largas palancas proporcionaría una ventaja significativa en la generación de dichas fuerzas (Miller, 1976; Dyson, 1978; Poprawski, 1988; Shannon, 1988; Maheras, 1992; Ecker, 1996). Pero unas características morfológicas favorables por si solas no ofrecen suficientes garantías de éxito a un lanzador; es igualmente necesario que las diferentes fuerzas del cuerpo se ejerzan en una secuencia determinada y con la debida coordinación para el lograr el éxito (Dyson, 1978, Silvester, 2003). Consecuentemente, el lanzador

deberá esforzarse en incrementar la potencia física bajo unas condiciones específicas como prerequisite para mejorar su rendimiento (Altmeyer y cols. 1994a). Por tanto, las cualidades que precisa poseer un lanzador de disco para poder alcanzar un máximo nivel de ejecución son: una determinada antropometría, velocidad, fuerza máxima, fuerza explosiva, flexibilidad, agilidad y coordinación (Grigalka, 1977; Bush y Weiskopf, 1980; Woicik, 1983; Paulsen, 1987; Gambetta y cols. 1988; Martínez, 1993; Judge, 1997).

Ya que la velocidad con que el objeto lanzado abandona la mano es proporcional a la media de la fuerza aplicada sobre el centro de gravedad del mismo; la técnica de lanzamiento eficaz será aquella en la que el atleta aplique las fuerzas de todo su cuerpo durante el mayor recorrido posible (Dyson, 1978). Por lo tanto se trata de un gesto complejo, donde la calidad técnica del movimiento es un factor dominante en la determinación del rendimiento (Arbeit y cols. 1987).

En consecuencia, los prerequisites por parte del atleta para lograr lanzar a la máxima distancia posible son (Bakarinov, 1990):

- Una técnica óptima de lanzamiento.
- La habilidad de realizar esa técnica con la máxima explotación de las capacidades físicas individuales del lanzador.

Al igual que el resto de las especialidades de lanzamiento, el aprendizaje y refinamiento de la técnica son complejos y necesitan de un prolongado y exigente período de entrenamiento (Gordien, 1973; Barclay, 1993; Bergeron, 2000; Cappos, 2000). Prueba de ello es la alta media de edad de los lanzadores que copan los primeros puestos del ranking mundial, situada en torno a los veintisiete años (figura 2.1), en la que aparentemente el nivel técnico, la experiencia y el desarrollo físico alcanzan su plenitud (Stepanek, 1986; Stepanek y Susanka, 1987). Desde la bibliografía consultada se recomienda un inicio temprano en el aprendizaje, apoyado por las experiencias prácticas que confirman que los atletas que comienzan su entrenamiento en la infancia tienen mayor probabilidad de éxito con posteridad (Rudman, 2002).

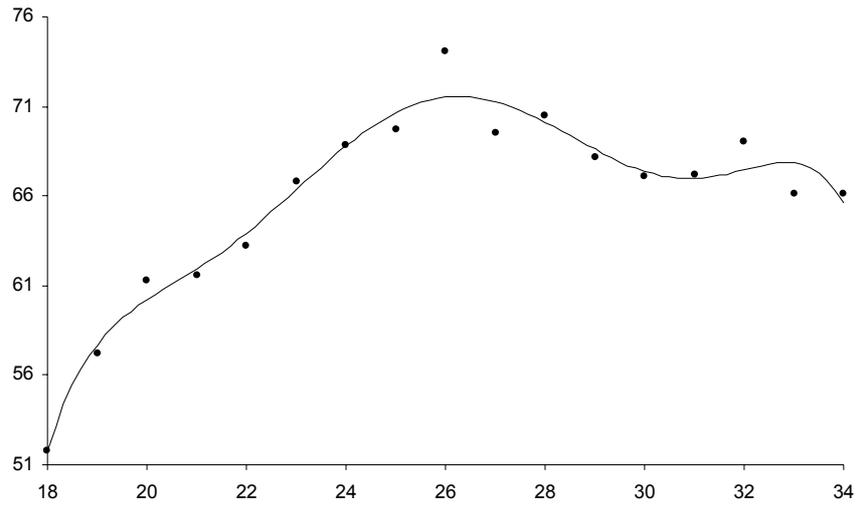


Figura 2.1. Evolución de las marcas de Jürgen Schult (Datos de Hommel (1994) y Jones (1993)).

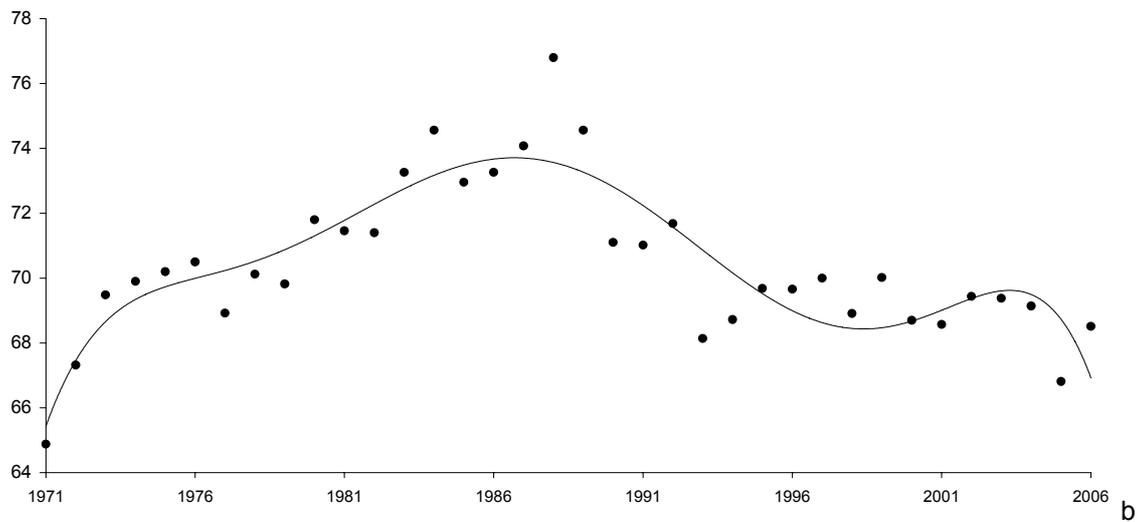
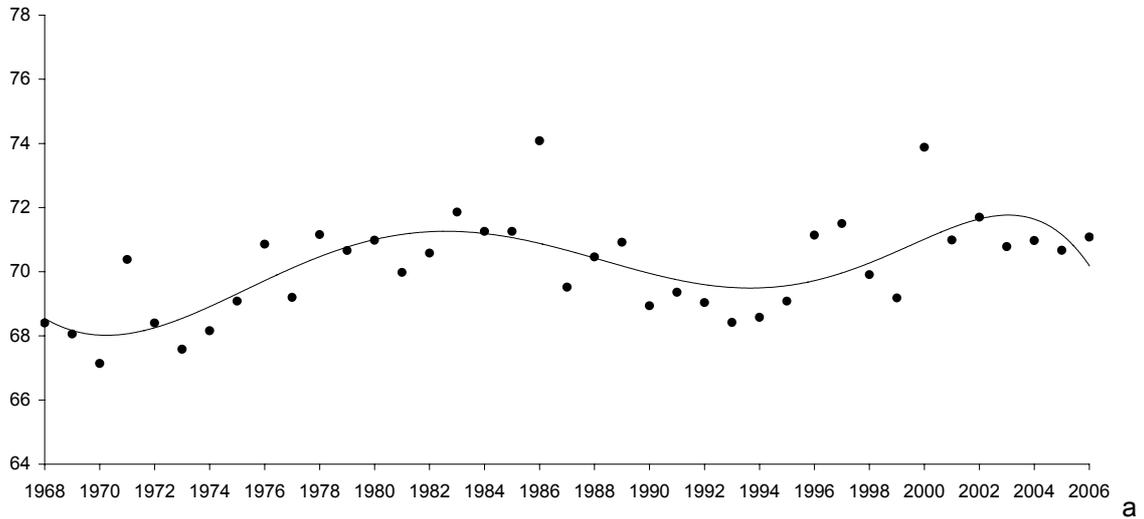


Figura 2.2. Mejores marcas mundiales de los últimos años. Categoría Masculina (a) y Femenina (b) (Datos de IAAF, 2006).

En cuanto a la evolución de las mejores marcas anuales en los últimos años se observa un estancamiento o tendencia a la baja en el Ranking Mundial tanto en categoría masculina como en femenina (figura 2.2).

Una de las posibles causas de la tendencia ligeramente descendente en la progresión anual de las marcas mundiales a partir de 1988, podría ser la introducción a partir de ese año de obligados controles antidopaje con el objetivo de velar por la salud de los deportistas (Stepanek, 1986; Stepanek y Susanka, 1987; Martínez, 1993).

Otro hecho de atención que muestra la figura 2.2, es la similitud de marcas entre lanzadores masculinos y femeninos. Las razones de esta igualdad podrían ser debidas a (Unger, 1978; Bartonietz, 1984 citado por Stepanek y Susanka, 1987; Stepanek, 1986; Stepanek y Susanka, 1987; Susanka y cols. 1988):

- La diferencia del 50% en la masa de disco, mientras que la diferencia en potencia física entre hombres y mujeres es más pequeña.
- Factores aerodinámicos, ya que el disco de categoría femenina tiene el 65% de la superficie del disco masculino pero con la mitad de la masa. Esta configuración proporciona mejores condiciones aerodinámicas.

En el lanzamiento de disco es posible obtener rápidamente resultados de consideración en deportistas jóvenes debido a un fuerte desarrollo de los parámetros de acondicionamiento y especialmente al desarrollo de la fuerza máxima. Por el contrario, en la fase final, cuando dichos atletas se aproximan a la edad de marcas de primera fila, los fallos en la técnica actúan como factores limitadores del rendimiento. Al propio tiempo, debido a los altos esfuerzos en el lanzamiento de disco, los movimientos erróneos implican un importante riesgo de lesión (Hillerbrand y cols. 1984; Arbeit y cols. 1987). Por todo ello, para las sucesivas mejoras de los resultados deportivos, se contempla a la biomecánica como el camino adecuado para el perfeccionamiento de la técnica del lanzamiento de disco y, en consecuencia, del rendimiento deportivo (Stepanek, 1986; Stepanek y Susanka, 1987; Susanka y cols. 1988).

2.4.1 ANÁLISIS BIOMECÁNICO CUALITATIVO Y PRINCIPIOS BIOMECÁNICOS DEL LANZAMIENTO DE DISCO

El análisis biomecánico cualitativo es considerado como un método de examen del movimiento humano desde una aproximación sistemática (Knudson y Morris, 2002).

Hay y Reid (1988) propusieron un modelo de análisis compuesto por cuatro fases a realizar en un análisis biomecánico cualitativo para cualquier tipo de tarea motriz. Las fases planteadas eran:

- Desarrollar un modelo biomecánico de la tarea.
- Observar la ejecución e identificar los errores.
- Jerarquizar los errores.
- Instruir a atleta.

Hay (1993) desarrolló un modelo biomecánico del lanzamiento de disco. En su modelo el autor, primeramente, identificó el propósito mecánico principal o resultado; que en el caso concreto del lanzamiento de disco es alargar la distancia oficial. Posteriormente, el autor identificó los factores biomecánicos que directamente influyen o determinan el resultado. El resultado del modelo desarrollado se puede ver en la figura 2.3.

Donde:

- d_o ; distancia oficial del lanzamiento: distancia horizontal entre la huella más cercana, hecha por la caída del disco, y el borde interno de la circunferencia del círculo de lanzamiento, medida a lo largo de una línea que pasa por el centro del círculo y la huella hecha por el disco.
- d_v ; distancia de vuelo: distancia horizontal desde el centro del disco en el instante de liberación hasta la huella desde la que se mide la distancia oficial, esto es, la diferencia entre la distancia oficial y la distancia de vuelo.

- d_p ; distancia perdida: distancia horizontal que recorre el disco en vuelo que no está acreditada en la medida de la distancia oficial.
- $V_{DISCOlib}$; velocidad de liberación del disco: magnitud del vector velocidad del disco en el instante de liberación, calculada a partir de las tres componentes vectoriales de la velocidad.
- $\Theta_{DISCOlib}$; ángulo de liberación del disco: ángulo entre el vector velocidad y la horizontal en el instante de liberación.
- $h_{DISCOlib}$; altura de liberación del disco: distancia vertical entre el suelo y el centro del disco en el instante de su liberación.
- d_A ; distancia aerodinámica: distancia ganada o perdida debido a las fuerzas aerodinámicas ejercidas sobre el disco durante su vuelo.
- **Postura**; postura adoptada por el lanzador en el instante de liberación del disco.
- **Ángulo de inclinación**; ángulo entre el eje longitudinal del disco y la horizontal en el instante de liberación.
- **Velocidad del viento**; magnitud y dirección del vector velocidad del viento durante el vuelo del disco.
- **Velocidad angular del disco**; velocidad con la que gira el disco respecto a su eje vertical en el instante de liberación.

Si se observa la figura 2.3 la distancia oficial puede ser considerada como el resultado de la resta entre la distancia de vuelo y la distancia perdida:

$$d_O = d_V - d_P$$

La distancia de vuelo está determinada por la velocidad, altura y ángulo de liberación del disco además de por factores aerodinámicos que influyen en el vuelo del disco. La velocidad y el ángulo de liberación están determinados por la magnitud y dirección de las fuerzas ejercidas sobre el disco así como por la distancia sobre la

cual las fuerzas son aplicadas. La altura de liberación está determinada por la postura adoptada por el atleta en el instante de liberación.

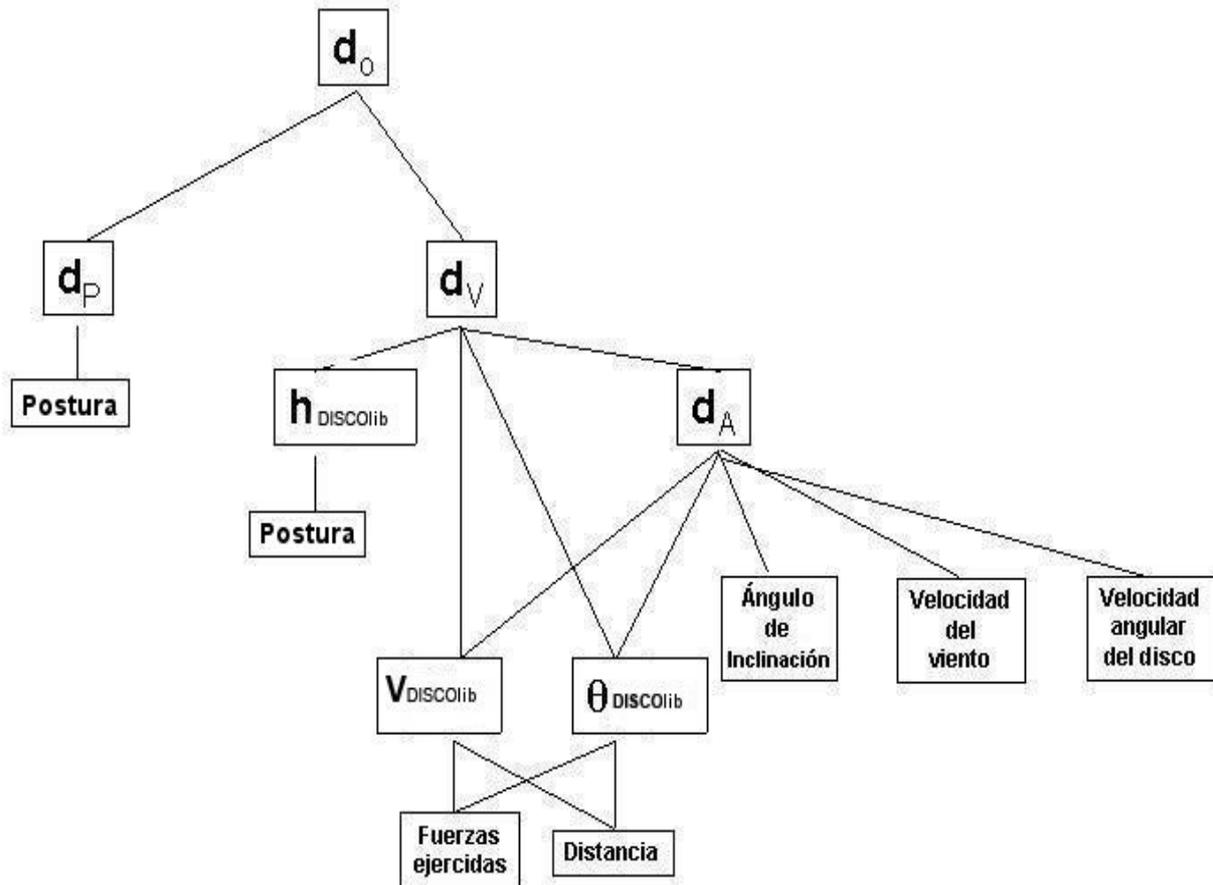


Figura 2.3. Modelo teórico de los factores que determinan la distancia oficial del lanzamiento (modificado de Hay, 1993).

La magnitud de las fuerzas ejercidas por el aire sobre el vuelo del disco están determinadas por:

- La velocidad de liberación del disco.
- El ángulo de liberación del disco.
- El ángulo de inclinación del disco sobre la horizontal en el instante de liberación.
- La velocidad del viento.
- La velocidad angular del disco en el instante de liberación.

Una vez desarrollado el modelo biomecánico, la siguiente fase consiste en observar e identificar los errores que quebrantan los principios biomecánicos. Todos los movimientos del cuerpo y del disco son, en último término, dirigidos por las leyes de la mecánica (Hubbard, 1989), por lo que está generalmente aceptado desde la visión de científicos y técnicos deportivos que una buena ejecución técnica debe estar basada en los principios biomecánicos (Sanders y Wilson, 1989; 1990a; 1990b; Bartlett, 1992; Knowles, 1999). De ese modo, el lanzador de disco debería conocer y aplicar los principios biomecánicos de los movimientos coordinados que son válidos para el lanzamiento de disco para mejorar su rendimiento (Gambetta y cols. 1988; Kreighbaum y Barthels, 1999; Bartlett, 2000a). A continuación se van a exponer algunos de los principios biomecánicos que intervienen en el lanzamiento de disco.

PRINCIPIO DE ACCIÓN - REACCIÓN

Este principio establece que si un objeto A ejerce una fuerza sobre un objeto B, el objeto B ejerce una fuerza de igual magnitud y de sentido opuesto (Sanders y Wilson, 1989). En el caso del lanzamiento de disco, el lanzador ejerce una fuerza de acción sobre el suelo, y el suelo ejerce una fuerza de reacción sobre el lanzador de igual magnitud pero sentido opuesto. Si la línea de acción de las fuerzas pasase por el centro de masas del sistema formado por las masas del lanzador y del disco se produciría un movimiento lineal. Pero si la línea de acción de las fuerzas no pasase por el centro de masas produciría un momento de fuerza alrededor del centro de masas que haría girar el sistema.

El lanzamiento de disco es un evento que combina movimiento lineal con rotacional para incrementar la velocidad de liberación del disco (Morris, 1973c; Bus y Weiskopf, 1980; Vrabel, 1987; Judge, 1996), aunque la velocidad final del disco se debe principalmente al movimiento rotacional, más que al lineal (Dapena, 1993; 1997; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997). Dapena y Anderst (1997) calcularon el momento lineal y angular en una muestra de lanzadores de disco de categoría masculina (tabla 2.1). Los resultados del estudio reflejaron que el momento lineal horizontal contribuyó en alrededor de un 6% en la generación de velocidad horizontal del disco en la liberación, mientras que el momento angular sobre el eje vertical contribuyó en el 94% restante. Semejantes resultados se encontraron en la

generación de velocidad vertical, el momento lineal vertical contribuyó en un 10%, mientras que el momento angular sobre el eje anteroposterior aportó el 90% restante.

El movimiento del lanzamiento de disco se ejecuta con un implemento con una masa de 2 Kg en categoría masculina y 1 Kg en categoría femenina, que el lanzador mantiene agarrado con su mano dominante y alejado de su cuerpo. Consecuentemente, por la influencia que tiene la masa del disco en la posición del centro de masas, en esta tesis se entenderá al término “sistema lanzador + disco” como un sistema de masas compuesto por los cuerpos del lanzador y del disco.

El movimiento lineal es provocado por las fuerzas concéntricas resultantes de las fuerzas ejercidas con los pies contra el suelo. Las fuerzas de reacción horizontales (figura 2.4.a) y verticales (2.4.b) generan momento lineal que provoca la traslación hacia delante y hacia arriba del sistema lanzador + disco (figura 2.4). De esta forma, contribuye a incrementar la componente horizontal y vertical de la velocidad de liberación del disco.

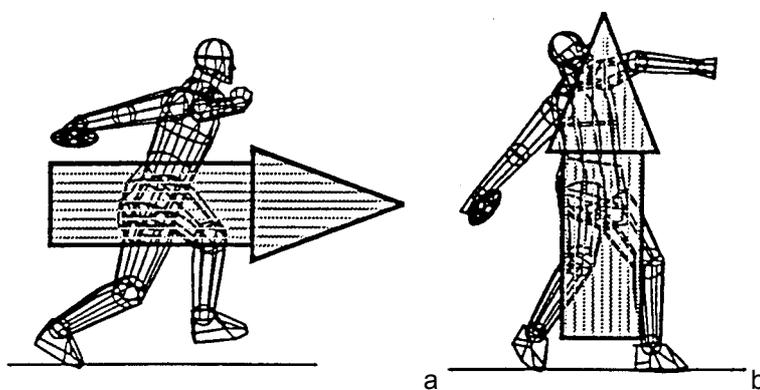


Figura 2.4. Momento lineal hacia delante (a) y momento lineal hacia arriba (b) (Dapena, 1993).

Para producir rotación son necesarias fuerzas excéntricas. Las fuerzas excéntricas son aquellas fuerzas que su línea de acción no pasa a través del centro de masas del sistema. El momento de fuerza generado por las fuerzas excéntricas producidas por las acciones de los pies contra el suelo, aplicado durante un intervalo de tiempo producirá momento angular. Existe momento angular principalmente en dos direcciones independientes (Dapena, 1997; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997):

- Momento angular sobre el eje vertical visible desde una posición cenital como una rotación en dirección opuesta a las agujas del reloj (figura 2.5). Este momento genera velocidad angular sobre el eje vertical que se transforma en velocidad lineal horizontal en el instante de liberación.

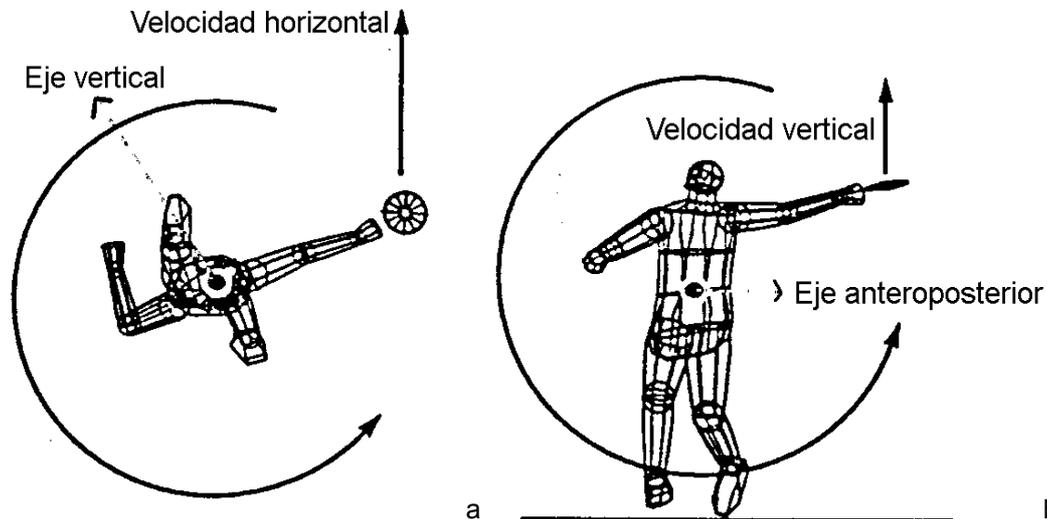


Figura 2.5. Momento angular sobre el eje vertical (a) y momento angular sobre el eje anteroposterior (b) (Dapena, 1993).

- Momento angular sobre el eje antero-posterior alineado con la línea media de la zona de lanzamiento, visible desde la parte posterior del círculo de lanzamiento como una rotación en contra de las agujas del reloj (figura 2.5). Este momento genera velocidad angular sobre el eje anteroposterior que se transforma en velocidad lineal vertical en el instante de liberación.

PRINCIPIO DE ACCIÓN SECUENCIAL O DE TRANSFERENCIA DEL MOMENTO ANGULAR

El *Principio de Acción Secuencial* es un principio biomecánico importante a aplicar en aquellos lanzamientos donde se busca incrementar la distancia de lanzamiento de un objeto maximizando su velocidad de liberación, como es el lanzamiento de disco. La velocidad de liberación del objeto está íntimamente relacionada con la velocidad del segmento más distal. Para que la velocidad del segmento distal sea máxima el reclutamiento de cada segmento corporal debe ajustarse a una secuencia ordenada. Esta secuencia de movimientos se inicia generalmente con los grupos

musculares proximales que son más grandes y potentes y continua hacia los músculos más distales de las extremidades portadoras del objeto que son más pequeños y rápidos (Sanders y Wilson, 1990a; Kreighbaum y Barthels, 1999; Bartlett, 2000a).

En las figuras 2.6 y 2.7 se representa un modelo que sirve para explicar de una manera más gráfica como se puede generar la máxima velocidad en el segmento más distal de un sistema de segmentos unidos. En la figura se representan tres segmentos con masa decreciente ("A", "B" y "C") y los tres ejes de rotación que los une ("a", "b" y "c"). La flecha del segmento "A", representa el momento de fuerza aplicado al segmento unido al suelo. Los momentos de fuerza generados sobre el segmento "A" son momentos externos al sistema y pueden afectar al momento angular de todo el sistema. Los momentos de fuerza muscular entre los segmentos "A" y "B" y entre "B" y "C" son momentos inter-segmentos (Kreighbaum y Barthels, 1999).

Supongamos que los músculos de la parte derecha del segmento "A" producen un momento externo lo suficientemente grande como para acelerar al segmento en sentido horario. Los momentos intermusculares entre los segmentos "A" y "B" y entre "B" y "C" en la medida que el sistema se acelera, estarán dirigidos a realizar una tensión muscular que permita resistir el movimiento en sentido antihorario de los segmentos distales relativos al segmento proximal. Si estos momentos intermusculares de estabilización no se produjesen, los segmentos "B" y "C" se quedarían atrás, al mismo tiempo que la parte distal del segmento "A" se movería hacia delante. Los momentos de fuerza externos aplicados sobre el segmento "A" aceleran todo el sistema y son los que generan todo el momento angular. Sin embargo, si se realiza una acción que actúe desacelerando el segmento "A" (figura 2.6b), la fuerza de desaceleración que se produce en el segmento "A" hacia la izquierda sobre el eje "b", tiende a fijar ese eje en el espacio. Debido a que los segmentos "B" y "C" son libres para moverse en sentido horario sobre el eje "b", los segmentos "B" y "C" continúan rotando con el mismo momento angular sobre el eje "b" (Kreighbaum y Barthels, 1999).

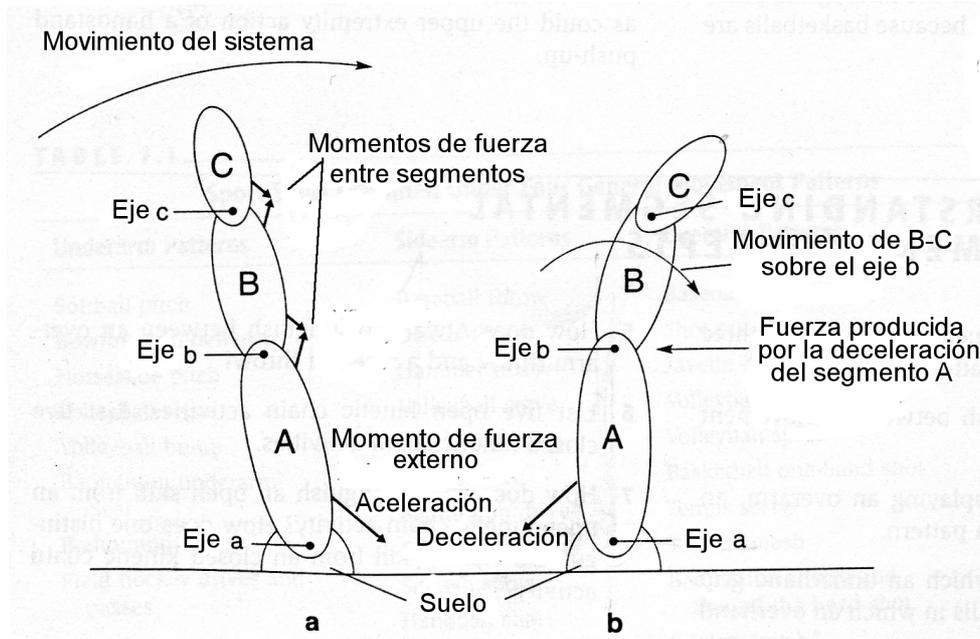


Figura 2.6. Modelo de un sistema de cadena abierta de tres segmentos.

Puesto que el eje de rotación de los segmentos “B” y “C” se ha movido desde el eje “a” hasta el eje “b”, el radio de giro y el momento de inercia para el resto del sistema (segmentos “B” y “C”) se han reducido. Consecuentemente, suponiendo que en este modelo simplificado el momento angular del sistema se conserve y teniendo en cuenta que los segmentos “B” y “C” tienen masas más pequeñas y un menor radio de giro sobre el eje “b”, la velocidad angular de los segmentos “B” y “C” se verá aumentada (Kreighbaum y Barthels, 1999).

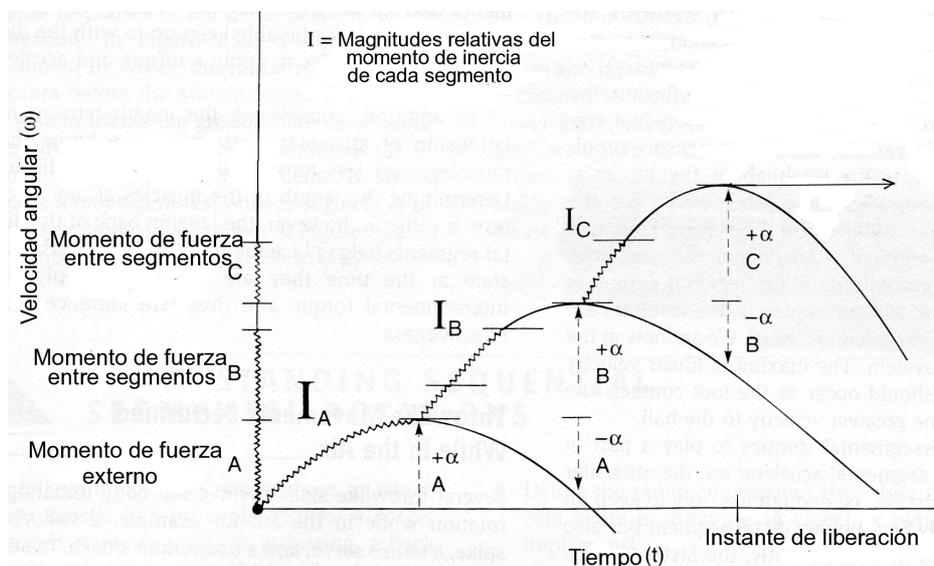


Figura 2.7. Modelo conceptual del Principio de Acción Secuencial.

Es importante remarcar que el momento de inercia del sistema se ha reducido porque el eje de rotación se ha desplazado a un punto más cercano a los dos segmentos distales y, consecuentemente, se ha reducido el radio de giro, al mismo tiempo que se ha eliminado del sistema la masa del segmento "A" (Kreighbaum y Barthels, 1999).

Si bien, el *Principio de Acción Secuencial* ha sido postulado como el más usado y perfeccionado por lanzadores experimentados existen muy pocas evidencias científicas que soporten tal asunción (Alexander, 1992).

El *Principio de Acción Secuencial* ha sido investigado usando técnicas de simulación computerizada. LeBlanc y Dapena (2002) en un estudio reciente, analizaron cual sería la configuración del sistema más beneficiosa para tal fin; para ello desarrollaron y analizaron las ecuaciones que aclaran la relación mecánica entre varios parámetros y la velocidad del punto más distal de una cadena cinemática de dos segmentos. Los autores llegaron a la conclusión de que para que el movimiento de la cadena fuera lo más ventajoso posible, el factor más influyente fue el cociente entre la velocidad angular del segmento distal y la velocidad angular del segmento proximal, de forma que a mayor cociente mayor optimización del movimiento.

2.4.2 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA TÉCNICA DEL LANZAMIENTO DE DISCO

El lanzamiento de disco que se conoce en la actualidad evoluciona desde la especialidad que formaba parte en los antiguos Juegos Olímpicos, de la disciplina del pentatlón junto con el salto de longitud, el lanzamiento de jabalina, la carrera y la lucha (Silvester, 2003; Young, 2004). Se conoce la existencia del lanzamiento de disco desde el mundo heleno gracias a los relatos de autores griegos.

En los Juegos antiguos no se realizaba el lanzamiento desde un círculo como el actual; por el contrario, utilizaban un área de aproximación similar al usado en el lanzamiento de jabalina actual. Tampoco existía un disco estándar en peso y diámetro por lo que cambiaba de una competición a otra (Silvester, 2003; Young, 2004).

En el marco de los Juegos Olímpicos modernos en 1896, se adoptan dos modalidades distintas; una modalidad de lanzamiento conocida como *Estilo Antiguo* o *Heleno*; en el que se partía de parado de espaldas a la dirección del lanzamiento y sobre una plataforma inclinada. El lanzamiento se realizaba girando todo el cuerpo pero sin perder en ningún momento los apoyos de los pies. Paralelamente se practicaba el *Estilo Libre*, en el que se partía de costado a la dirección del lanzamiento; el lanzamiento se efectuaba girando sobre un pie o dando un paso cruzado. En los últimos años del siglo XIX se utilizaba ya el *Estilo Libre de Giro*, que consistía en dar una o más vueltas sobre un pie en contacto con el suelo, manteniendo el cuerpo erguido. La posición de partida podía variar, pero la de costado a la dirección de lanzamiento, obligando a dar un giro y un cuarto, se consideraba más rentable que otras posiciones en las que había que realizar más giros.

Ya en el siglo XX los atletas empiezan a introducir innovaciones, como el americano Martin Sheridan que buscaba una posición más encogida con las rodillas flexionadas en la salida, llevar el miembro superior del lanzamiento muy atrasado durante todo el recorrido, una velocidad máxima durante el giro y mantener siempre un pie de contacto con el suelo. En Europa a finales del siglo XIX y en Estados Unidos a principios del XX aparecen los primeros lanzamientos con un cambio de apoyo de pies previo a la liberación. El finlandés Armas Tápiale, ejecutaba en su técnica una trayectoria ondulatoria del disco durante el giro para aumentar el recorrido de aceleración.

A partir de este punto habría dos técnicas de lanzamiento definidas:

- *Americana* o de velocidad.
- *Finlandesa* o de potencia.

En 1919, en Europa, ya existían lanzadores que se colocaban en una posición de partida totalmente de espaldas a la dirección del lanzamiento, realizando la llamada técnica de *Vuelta y Tres Cuartos*. En Estados Unidos introducen la *Fase de Vuelo* en el lanzamiento mediante un salto antes de la fase final del lanzamiento. En la posición de partida se empieza a colocar también el pie izquierdo más atrasado

respecto al derecho para facilitar el giro, y posicionaban este hacia atrás en el último de los movimientos preliminares.

En 1924 el americano Tom Lieb gana un cuarto más de vuelta sobre la técnica del momento al iniciar el giro con el pie derecho colocado más a la derecha de la línea de lanzamiento, dando paso entonces a la técnica de *Vuelta y Media*. Además y sobre esta técnica, se empieza a acercar el disco al cuerpo para aumentar la velocidad de giro.

En 1953 un lanzador estadounidense populariza el lanzamiento final con salto, con los dos pies elevados del suelo, cuando hasta entonces sólo se lanzaba con los dos pies en apoyo o con el derecho elevado.

Sobre la técnica de *Giro y Tres Cuartos* irán apareciendo modificaciones, en los años 60; habrá tres lanzadores que incorporen a la técnica las siguientes características:

- Alfred Oerter: lanzamiento con una elevada flexión del tronco y el miembro superior del lanzamiento muy atrasado.
- Jay Silvester: durante el lanzamiento llevaba el tronco en posición erecta, y lanzaba el miembro inferior derecho alejado del cuerpo y con la rodilla extendida. Al final impulsaba fuertemente con los miembros inferiores, liberando el disco con ambos pies en el aire.
- Ludwig Danek: llevaba el tronco durante el giro con una elevada torsión, mediante una rotación activa del tronco y del miembro inferior derecho.

En lo sucesivo los lanzadores comienzan a adquirir alguna de las características de estos precursores, encontrándose con auténticos seguidores de uno u otro estilo, aunque por supuesto también los habrá que incluyan en la técnica características de más de uno de los atletas anteriores.

Como conclusión, el desarrollo de la técnica de lanzamiento de disco a lo largo de la historia es el resultado de cambios en las reglas y de un esfuerzo en mejorar las condiciones que alargan la trayectoria a través de la cual el disco puede ser acelerado (Stepanek y Susanka, 1987; Hay, 1993)

2.4.3 LA TÉCNICA ACTUAL DEL LANZAMIENTO DE DISCO

La técnica (figura 2.8) actualmente empleada por los lanzadores de disco (en el caso de un lanzador diestro) consiste en partir de una posición inicial de espaldas a la dirección de lanzamiento realizar uno o más balanceos preliminares que finalizan con el disco por detrás del cuerpo a la altura de los hombros. Posteriormente, se realiza una acción de pivote hacia la izquierda sobre los metatarsos del pie izquierdo que finaliza con un paso o salto desde el pie izquierdo para caer sobre el pie derecho cerca del centro del círculo. Desde este apoyo se realiza una acción de pivote hacia la izquierda que concluye anclando el pie izquierdo próximo al límite frontal del círculo y a la izquierda de la dirección intencionada de lanzamiento. Y una vez restablecido el doble apoyo el lanzador realiza un movimiento final de lanzamiento intentando prevenir el nulo frenando el movimiento de los pies (Hay y Yu, 1995a).

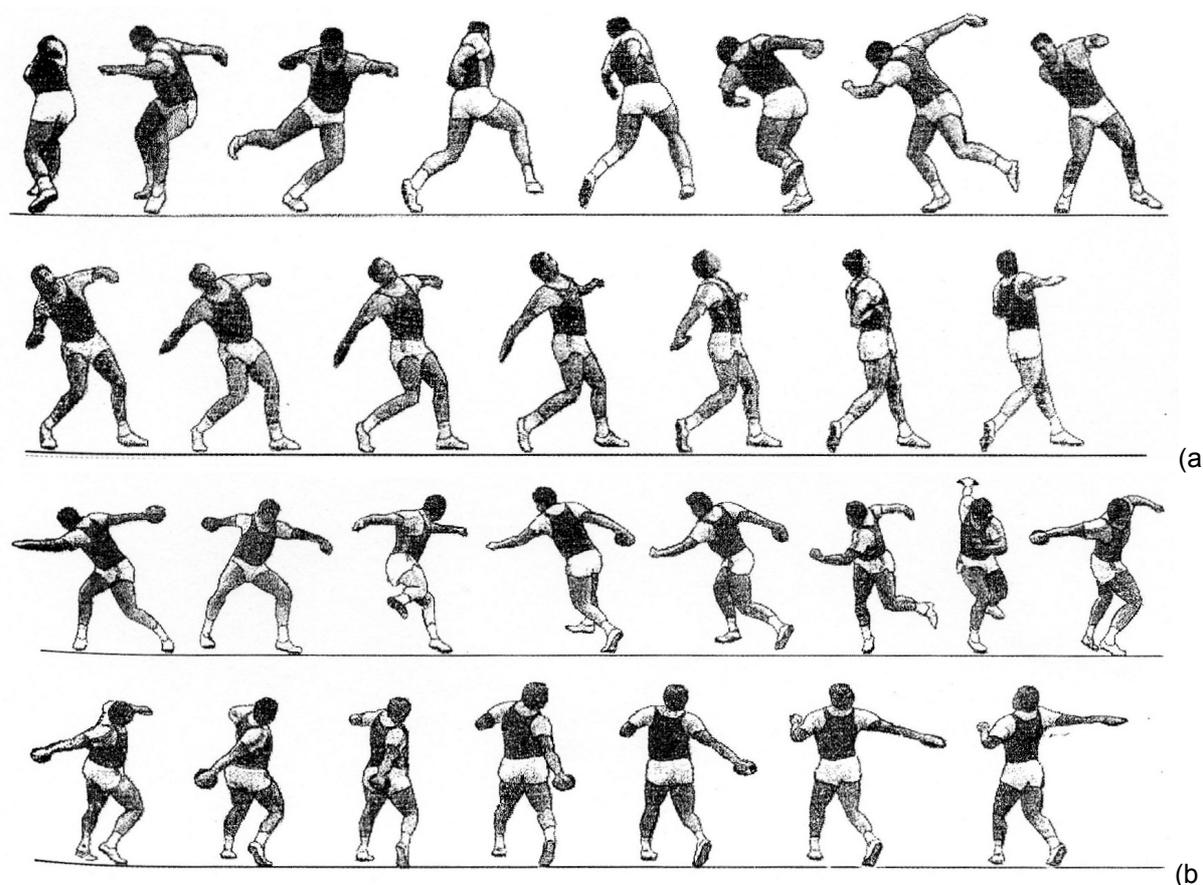


Figura 2.8. Seriación de un lanzamiento de disco desde dos puntos de vista: a) plano sagital desde el lado derecho, b) plano frontal desde detrás (Adaptado de Bidault, 1998).

Se destaca en la literatura dirigida a los técnicos deportivos que en esta sucesión de apoyos el centro de masas del sistema lanzador + disco deberá alternativamente pasar justo por encima de cada uno de ellos (Irving, 1980). El fin último del lanzamiento de disco es 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 (Bartlett, 1992; Hay, 1993; Kreighbaum y Barthels, 1999).

Con todo esto el lanzamiento de disco se considera una sucesión complicada de movimientos ejecutados a una alta velocidad en un espacio limitado; esto hace que la técnica en el lanzamiento de disco tenga una gran importancia en el resultado final (Yu y cols. 2002).

A pesar de que la relación entre las masas del atleta y el disco es diferente en hombres que en mujeres no existen dos técnicas diferentes de lanzamiento, sino que hay una técnica generalmente aceptada para ambos, ya que los principios biomecánicos en los que se basa la técnica de lanzamiento de disco son los mismos (Webb, 1985; Knowles, 1999). Sin embargo, se ha tener en cuenta las variaciones de estilo que aparecen entre sujetos para acomodar sus características físicas a ésta.

El lanzamiento de disco posee un inicio y un fin bien definidos, se trata por tanto de una tarea discreta. Para facilitar la cognición, la descripción y la evaluación de las tareas discretas, el movimiento se divide en diferentes fases. Cada una de estas fases viene definida por instantes cruciales que la acotan (Stepanek y Susanka, 1987; Bartlett, 1999; Kreighbaum y Barthels, 1999). Estos instantes son momentos singulares que marcan cambios en el patrón de movimiento tales como el despegue y contacto de los pies, cambios en la trayectoria del disco, etc.

Además de estas fases definidas, en la técnica del lanzamiento aparecen eventualidades tales como la posición previa al lanzamiento, los balanceos preliminares o el recobro después del lanzamiento, que son de gran importancia para técnicos deportivos, encontrándose en la bibliografía descripciones y comentarios sobre ellas (Hay, 1993; Ecker, 1996).

En la bibliografía aparecen numerosas posibilidades de división de las cuales a continuación enumeramos las utilizadas más frecuentemente:

- Morris (1973c):
 - *Posición de inicio.*
 - *Salida.*
 - *Primer Giro.*
 - *Segundo Giro.*
 - *Lanzamiento.*
- McCoy y cols. (1985) usó las siguientes denominaciones para los instantes y fases del lanzamiento:
 - *Fase Inicial:* Rotación inicial de los hombros en sentido contrario al de las agujas del reloj.
 - *Salida:* Posición del cuerpo en el momento del despegue del pie izquierdo en la parte trasera del círculo.
 - *Fase de Salto:* Intervalo de tiempo desde que despega el pie izquierdo hasta que apoya el pie derecho en la parte delantera del círculo.
 - *Fase de Transición:* Intervalo de tiempo desde el contacto del pie derecho hasta el contacto del pie izquierdo, en la parte delantera del círculo.
 - *Posición de Fuerza* (“*Power Position*”): Posición del cuerpo inmediatamente después del apoyo del pie izquierdo (figura 2.9).
 - *Fase de Empuje:* Intervalo de tiempo que apoya el pie izquierdo hasta que despega el disco.
 - *Liberación:* Primer instante de no contacto entre el disco y la mano del lanzador.



Figura 2.9. Posición de fuerza – *Power Position* (Silvestre, 2003).

- Arbeit y cols. (1987) subdividió el movimiento dentro de las siguientes fases:
 - *Giro Inicial.*
 - *Salto* (fase sin apoyo).
 - *Amortiguación.*
 - *Aceleración Principal.*
 - *Liberación.*
- Burke (1988) dividió el evento en:
 - *Posición de Inicio.*
 - *Balanceos Preliminares.*
 - *Transición o Entrada.*
 - *Impulso a Través del Círculo de Lanzamiento.*
 - *Posición de Fuerza (“Power Position”).*
 - *Liberación.*
 - *Reverso.*

-
- Maheras (1992) descompone el lanzamiento en cuatro fases básicas:
 - *Balanceos Preliminares.*
 - *Punto Neutral:* Rotación del lanzador hacia la izquierda y atrás hasta llevar el disco al punto más atrasado.
 - *Transición:* Inicio del movimiento hacia la dirección del lanzamiento hasta que apoya con el pie derecho en la parte delantera del círculo.
 - *Posición de Fuerza:* Período de tiempo desde que apoya el pie derecho en la parte media del círculo hasta que apoya el izquierdo.
 - *Esfuerzo Final:* Fase desde que apoya con ambos pies en el suelo en la parte delantera del círculo hasta que despega el disco.
 - Bartlett (1992), Knicker (1994a, 1994b) utilizan la siguiente denominación para la división del movimiento en cinco fases:
 - *Preparación.* 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 en sentido contrario a las agujas del reloj, hasta que el pie derecho despega del suelo.
 - *Entrada.* Intervalo de tiempo que transcurre desde el despegue del pie derecho hasta el despegue del izquierdo.
 - *Aérea.* Intervalo de tiempo en que ningún pie del lanzador está en contacto con el suelo.
 - *Transición.* Intervalo de tiempo que transcurre desde el apoyo del pie derecho después del vuelo, hasta el apoyo del pie izquierdo.
 - *Lanzamiento.* Intervalo de tiempo que transcurre desde el apoyo del pie izquierdo hasta que la mano del lanzador pierde contacto con el disco.
 - Jones (1995) describe las siguientes fases:
 - *Balanceos Previos.*

- *Entrada.*
- *Giro.*
- *Posición de Potencia ("Power Position").*
- *Lanzamiento.*
- Judge (1997) detalla las fases de:
 - *Posición Inicial* en la parte posterior del círculo.
 - *Inicio del Giro.*
 - *Impulso a Través del Círculo.*
 - *Vuelo.*
 - *Aterrizaje.*
 - *Posición de Potencia ("Power Position").*
 - *Despegue del Disco.*
 - *Cambio de Pies.*
- Ecker (1996) fragmenta el movimiento en las tres siguientes fases:
 - *Balanceos Preliminares* que finalizan cuando el disco se encuentra en la posición más retrasada y con los músculos estirados.
 - *Giro* que abarca desde el inicio del movimiento hacia la dirección de lanzamiento, en sentido contrario a las agujas del reloj, hasta el apoyo del pie izquierdo en la parte frontal del círculo de lanzamiento.
 - *Liberación* correspondiente al intervalo de tiempo comprendido entre el instante de apoyo del pie izquierdo hasta la liberación del disco.

En los análisis biomecánicos del lanzamiento del disco se utiliza habitualmente una división en cinco fases limitadas por los distintos apoyos de los pies (Knicker, 1992; Dapena, 1993; Tidow, 1994; Hay y Yu, 1995; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y

cols. 1997; Knowles, 1997; Ferro y cols. 1998; Knicker, 1999; Miyanishi y Sakurai, 2000; Yu y cols. 2002). Ésta división será usada en este trabajo de investigación y siempre hará referencia a un lanzador diestro, salvo que se indique lo contrario. Las denominaciones y definición de cada una de las fases son las siguientes:

- *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 en sentido contrario a las agujas del reloj (figura 2.10), hasta que el pie derecho despegas del suelo (figura 2.11).
- *Fase de Primer Apoyo Simple*. Intervalo de tiempo que transcurre desde el despegue del pie derecho, hasta el despegue del izquierdo (figura 2.12).
- *Fase de Vuelo*. Intervalo de tiempo en que ningún pie del lanzador está en contacto con el suelo.
- *Fase de Segundo Apoyo Simple*. Intervalo de tiempo que transcurre desde el apoyo del pie derecho después del vuelo (figura 2.13), hasta el apoyo del pie izquierdo (figura 2.14).
- *Fase de Segundo Apoyo Doble*. Intervalo de tiempo que transcurre desde el apoyo del pie izquierdo hasta que la mano del lanzador pierde contacto con el disco (figura 2.15).

Una variante a esta división es la que introduce además de los eventos nombrados en la clasificación anterior, aquellos instantes en los que el disco alcanza su primera altura mínima en la *Fase de Primer Apoyo Simple*; su altura máxima en la *Fase de Segundo Apoyo Simple* y su segunda altura mínima en la *Fase de Segundo Apoyo Doble* (Stepanek, 1986; Stepanek y Susanka, 1987; Susanka y cols. 1988).

Aunque el lanzamiento de disco se divide en diferentes fases para su análisis, los movimientos de una fase influyen en los movimientos de las siguientes fases, en consecuencia el objetivo de cada fase se evalúa en términos de contribución a la efectividad final del movimiento (Kreighbaum y Barthels, 1999; Bartlett, 2000a).



Figura 2.10. Instante que el disco alcanza su punto más atrasado después de los balanceos previos y empieza el movimiento en sentido contrario a las agujas del reloj.



Figura 2.11. Instante de despegue del pie derecho.



Figura 2.12. Instante de despegue del pie izquierdo.



Figura 2.13. Instante de apoyo del pie derecho.



Figura 2.14. Instante de apoyo del pie izquierdo.



Figura 2.15. Instante de liberación del disco.

En biomecánica deportiva se buscan patrones de movimiento de referencia para cada técnica deportiva con el objetivo de que los atletas aprendan una técnica de probada eficacia. Estos patrones de referencia, que podríamos denominar

generales, se ven influenciados por las características fisiológicas, físicas y morfológicas del sujeto, adaptando éste la técnica general a sus propias características y recursos creando su propia técnica individual o estilo (Kreighbaum y Barthels, 1999; Bergeron, 2000). Si observamos una competición de disco de categoría élite se encontrarán dos competidores que exhiban idéntica técnica y por supuesto se presentarán tantas variaciones como competidores participen. Mientras que los estilos pueden ser diferentes, la técnica básica estará adherida a todos los lanzamientos (Jones, 1995), por lo que se podría afirmar que no existe una técnica ideal sino una individual, y que cada atleta adapta sus características a la acción concreta con el fin de alcanzar su máximo rendimiento (Knicker, 1994a, 1994b; Bergeron, 2000).

El técnico deportivo debe elegir un modelo individualizado para cada atleta (Judge, 1996); esto supone una disyuntiva para cualquier técnico deportivo, el tener que diferenciar entre errores y variaciones individuales del movimiento técnico (Knicker, 1994a, 1994b; Knowles, 1997). Adquirir un estilo propio es importante; los mejores atletas son capaces de reproducir la misma maniobra motora prácticamente del mismo modo. Y este hecho en sí mismo es una condición previa básica para la creación de unas condiciones óptimas para la liberación del disco (Susanka y cols. 1988).

A continuación se muestran en la tabla 2.1 los estudios biomecánicos más relevantes que aparecen en la bibliografía consultada.

Tabla 2.1. Sujetos, material y métodos de los estudios seleccionados de la bibliografía

Autores	Número de Sujetos	n	Sexo	Competición	d ₀ (m)	Metodología y técnica instrumental
Terauds, 1978	9	10	♂	Encuentro USA vs. URSS, Durham 1974	61.57 SD 5.67	Análisis cinemático. Fotogrametría bidimensional de alta velocidad
Gregor y cols. 1985	3	9	♂	Juegos Olímpicos, Los Ángeles 1984	65.59 SD 0.71	Análisis cinemático.
	3	9	♀		63.50 SD 1.40	Fotogrametría tridimensional (120Hz)
McCoy y cols. 1985	4	46	♂	Entrenamiento en mayo de 1982; y TAC National Championships en 1983	62.59 SD 2.68	Análisis cinemático.
	3	21	♀		56.65 SD 2.99	Fotogrametría tridimensional
Stepanek, 1986	2	2	♂	Campeonato del Mundo Júnior de Atletismo, Atenas 1986	67.94 SD 1.41	Análisis cinemático.
	2	2	♀		62.31 SD 2.42	Fotogrametría tridimensional
Susanka y cols. 1988	8	8	♂	Campeonato del Mundo de Atletismo, Roma 1987	65.88 SD 1.41	Análisis cinemático.
	8	10	♀		67.15 SD 3.11	Fotogrametría tridimensional (200Hz)
Pozzo y cols. 1988	1	11	♀	Sesión de entrenamiento con diferentes pesos de disco (1 y 1.5 kg)		Análisis cinemático. Fotogrametría tridimensional (50Hz)
						Análisis cinético. 2 plataformas de fuerzas (100Hz)

Autores	Número de Sujetos	n	Sexo	Competición	d _o (m)	Metodología y técnica instrumental
Knicker, 1990	9	30	♂	Distintas competiciones entre 1986 y 1990	63.23 SD 2.16	Análisis cinemático. Fotogrametría tridimensional (200Hz)
Knicker, 1992	3	9	♂	Distintas competiciones entre 1986 y 1990	63.76 SD 3.07	Análisis cinemático. Fotogrametría tridimensional (200Hz)
^a Knicker, 1994a, 1994b	8	23	♂	Campeonato del Mundo de Atletismo, Stuttgart'93	63.60 SD 2.76	Análisis cinemático Fotogrametría tridimensional (50Hz)
	8	21	♀		63.94 SD 2.05	
Hay y Yu, 1995a, 1995b, 1996	14	14	♂	1990 US Olympic Festival en Minneapolis	59.07 SD 4.43	Análisis cinemático. Fotogrametría tridimensional (60Hz)
	15	15	♀		57.90 SD 7.51	
Silvester y McCoy, 1995	9	9	Júnior ♂	Concentración nacional	49.53 SD 5.75	Análisis cinemático. Fotogrametría tridimensional (60Hz)
	9	17	♂	Competiciones nacionales e internacionales	62.48 SD 2.68	
Dapena y Anderst, 1997	24	26	♂	1996 UC San Diego Open 1994 Campeonato USATF	58.44 SD 2.98	Análisis cinemático. Fotogrametría tridimensional (50Hz)
Dapena y cols. 1997	17	17	♀	1996 UC San Diego Open 1994 Campeonato USATF 1994 National Invitational en Indianápolis	56.16 SD 4.00	Análisis cinemático. Fotogrametría tridimensional (50Hz)

Autores	Número de Sujetos	n	Sexo	Competición	d _o (m)	Metodología y técnica instrumental
Ferro y cols. 1999	6	10	♂	Sesión de entrenamiento con diferentes pesos de disco	48.82 SD 4.54	Análisis cinemático. Fotogrametría tridimensional (100Hz)
	3	4	♀		48.51 SD 4.58	
Knicker, 1999	11	47	♂	Campeonato del Mundo de Atletismo, Atenas'97	63.37 SD 2.43	Análisis cinemático. Fotogrametría tridimensional (50Hz)
Miyanishi y Sakurai, 2000	25	25	♂	USA Track & Field Championships, 1998	57.76 SD 4.72	Análisis cinemático. Fotogrametría tridimensional (60Hz)
Xie, 2000	1	2	♂	XIX Juegos Asiáticos del Sureste	56.37 SD 3.4	Análisis cinemático. Fotogrametría tridimensional (200Hz)
				XX Juegos Asiáticos del Sureste		
Yu y cols. 2002	8	48	♂	Concentración celebrada en el Centro Olímpico de Entrenamiento de San Diego en 1998	55.87 SD 3.12	Análisis cinemático. Fotogrametría tridimensional (60Hz)
						Análisis cinético. 3 plataformas de fuerzas (1000Hz)

^a A los datos cinemáticos de los finalistas del Campeonato del Mundo de Atletismo Stuttgart'93 fueron añadidos a la base de datos del Instituto para el Atletismo y la Gimnasia de la Universidad del Deporte Alemán de Colonia. Ellos incrementaron el número de lanzamientos analizados a 260 con una relación entre mujeres y hombres de 58/202. Las distancias se encontraban entre un rango de 37.22 a 68.94 m

Seguidamente, se realizará una descripción de la técnica generalmente aceptada utilizando las cinco fases específicas de lanzamiento y definiendo, así mismo, el modo de agarrar el disco, la posición adoptada por el lanzador al inicio del gesto y la fase posterior a la liberación del disco.

Para facilitar la comprensión de la descripción de la técnica del lanzamiento de disco las siguientes premisas se deben tener presente a lo largo del texto:

- La descripción técnica se realiza en referencia a un lanzador diestro.
- La línea de dirección de lanzamiento, desde la parte posterior hacia la frontal, es la línea que divide en dos zonas, derecha e izquierda el círculo de lanzamiento.

2.4.3.1 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LAS FASES

El hincapié puesto en las descripciones mecánicas de cada fase puede dar la impresión de que el lanzador se mueve mecánicamente de una posición a otra sin fluidez ni gracia. Sin embargo, el ritmo es de mayor importancia que el movimiento a lo largo del lanzamiento con atención precisa a la posición de cada segmento (Silvester, 1988, 2003; Klein, 2003). Dada la importancia del ritmo en el lanzamiento de disco son muchos los autores que lo han evaluado por medio del análisis temporal de las fases (Terauds, 1978; Gregor y cols. 1985; Stepanek y Susanka, 1987; Susanka y cols. 1988; Knicker, 1990, 1992, 1994a, 1994b, 1999).

No existe un consenso general entre los científicos y técnicos deportivos sobre la contribución de las diferentes distribuciones temporales de cada una de las fases en el rendimiento del lanzamiento (Knicker, 1994a, 1994b). Sin embargo, los análisis temporales que aparecen en la literatura científica demuestran que existe una consistencia intra-sujeto en la duración de las distintas fases; pero una variabilidad significativa inter-sujetos (Susanka y cols. 1988; Knicker, 1999). El atleta debe sentirse cómodo con su propio ritmo, y debe tener la impresión de que puede hacer un uso completo de su potencial físico (Arbeit y cols. 1987).

La consistencia intra-sujeto en la duración de las fases está más presente en la duración total del giro (desde la Fase 2 hasta el final del lanzamiento) que en la duración de cada una de las fases por separado (Bartlett, 1992). Por lo tanto, un análisis temporal de las fases es un buen indicador de la estabilidad individual en el ritmo y en el tiempo de movimiento (Knicker, 1994a, 1994b). Esta estabilidad es una característica de los mejores lanzadores ya que son capaces de reproducir la misma ejecución motora con el fin de estabilizar el ritmo y el tiempo del movimiento para

alcanzar las optimas condiciones de liberación. Desviaciones de la distribución temporal de las fases en un individuo frecuentemente conducen a acortar la distancia de lanzamiento (Susanka y cols. 1988; Knicker, 1990; Bartlett, 1992; Knicker, 1994a, 1994b).

Las diferentes distribuciones temporales de las fases por sí solas no causan una disminución en la distancia de lanzamiento, sino que son las diferencias temporales la causa de la utilización de diferentes estilos técnicos (Bartlett, 1992). Knicker (1994a, 1994b) en su estudio con los finalistas del Campeonato del Mundo de Stuttgart'93 (tabla 2.1) no encontró ninguna correlación estadística entre la duración de las tres últimas fases, ni con la distancia oficial, ni con la altura de liberación, ni con el ángulo de liberación, ni con la velocidad de liberación. El autor argumentó esta falta de correlación a las grandes variaciones individuales en la distribución temporal entre los sujetos del estudio.

En cuanto a las posibles diferencias entre hombres y mujeres, Knicker (1994a, 1994b) no encontró diferencias significativas entre la distribución temporal de las distintas fases entre las dos categorías. Sin embargo, el autor advirtió que podría identificarse una tendencia de las mujeres a alargar la *Fase de Segundo Apoyo Doble* con respecto a los hombres, y de igual modo, los hombres evidenciaban una *Fase de Segundo Apoyo Simple* marcadamente más larga. Las posibles causas y consecuencias de esta tendencia de alargar una u otra fase no fueron citadas por el autor.

2.4.3.2 SELECCIÓN DEL DISCO

El diametro exacto, la forma y el peso de un disco están determinados por el reglamento (figura 2.16), pero no la distribución de la masa. En categoría masculina el disco tiene una masa es de 2kg, mientras que en categoría femenina la masa es de 1kg. Debido a las diferencias en la distribución de la masa, algunos discos pueden ser lanzados a más distancia que otros, incluso cuando las variables mecánicas de la liberación sean las mismas (Maheras, 1992; Ecker, 1996).

Cada disco tiene un cierto momento de inercia, que está determinado por la distribución de la masa dentro del mismo. Si una gran cantidad de masa está

concentrada en el centro del disco, éste tendrá un momento de inercia bajo; pero si en cambio la masa está distribuida alrededor del límite externo, el disco tendrá un gran momento de inercia permitiendo al disco ser más estable a los cambios de orientación causados por las fuerzas aerodinámicas (Frohlich, 1981; Maheras, 1992; Ecker, 1996).

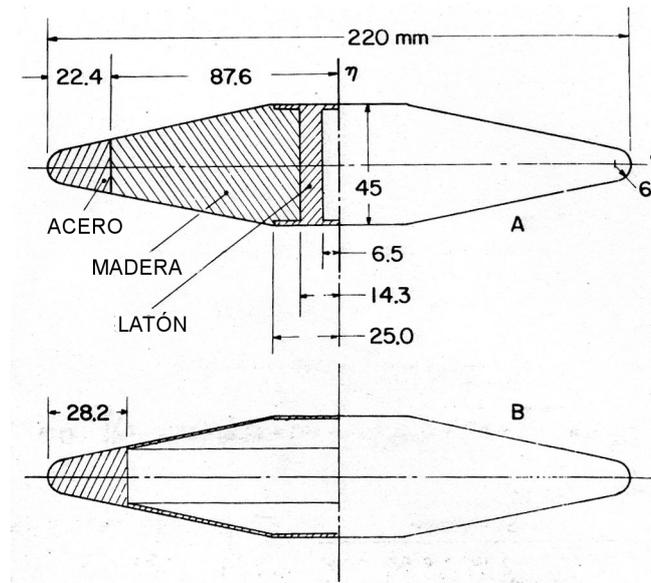


Figura 2.16. Geometría del disco. A) Disco convencional: masa = 2000gr.; momento de inercia $I_{\eta} = 157.61 \text{gr}\cdot\text{cm}^3\text{s}^2$; $I_{\epsilon} = 78.81 \text{gr}\cdot\text{cm}\cdot\text{s}^2$. B) Disco ideal con toda la masa concentrada en el borde: $I_{\eta} = 182.5 \text{gr}\cdot\text{cm}^3\text{s}^2$; $I_{\epsilon} = 91.3 \text{gr}\cdot\text{cm}\cdot\text{s}^2$ (Adaptado de Soong, 1976)

Cuando un disco es lanzado, el atleta le aplica rotación sobre el eje perpendicular al plano del disco con el objetivo de incrementar su estabilidad. Por lo que un disco con mayor momento de inercia respecto a otro será más propenso a la estabilidad en el vuelo (Terauds, 1978; Frohlich, 1981; Maheras, 1992; Ecker, 1996).

2.4.3.3 AGARRE DEL DISCO

El agarre del disco es muy importante para lograr el éxito final (Silvester, 1988). Los propósitos del agarre del disco son: facilitar el control sobre el implemento a lo largo del movimiento de giro y proporcionar al disco una posición de liberación correcta (Schwartz, 1982; Burke, 1988).

El tipo de agarre que elige el lanzador depende de la morfología de la mano (tamaño y longitud de los dedos) y de las necesidades individuales (Bush y Weiskopf, 1980; Judge, 1997). El agarre debe servir para proporcionar un control adecuado del disco tanto a lo largo del lanzamiento como en el instante de liberación (Schwartz, 1982). Existen dos tipos de agarre (Bush y Weiskopf, 1980; Morris, 1981; Burke, 1988; Judge, 1997; Zody, 1976; Silvester, 2003):

- Garra o Extendido (de la denominación inglesa “*Spread Finger Grip*”); en la que la palma cubre el centro del disco, los dedos abiertos están uniformemente distribuidos apoyando el borde del disco en la última articulación de las falanges y el dedo pulgar apunta hacia el borde de ataque del disco (figura 2.17). La aplicación de la presión se reparte entre los dedos. El dedo índice es el que controla el disco en el momento del lanzamiento facilitando la rotación. Este agarre permite un mayor control del disco y por ello está recomendado para principiantes.
- Dedos Juntos (de la denominación inglesa “*Fork Grip*”); los dedos índice y corazón permanecen juntos sujetando el disco, el dedo pulgar apunta hacia el borde de ataque del disco y los otros dos dedos se encuentran distribuidos confortablemente sobre el disco (figura 2.17). Este tipo de agarre es el más utilizado entre lanzadores que poseen mayor experiencia. La opción requiere mayor fuerza de agarre en los dedos, ya que la mayor parte de la presión se ejerce con la última falange de los dedos índice y corazón, y con la cara exterior del dedo pulgar. Con este agarre la liberación se realiza con el dedo índice mientras que la presión del pulgar proporciona estabilidad al disco en ese mismo instante.

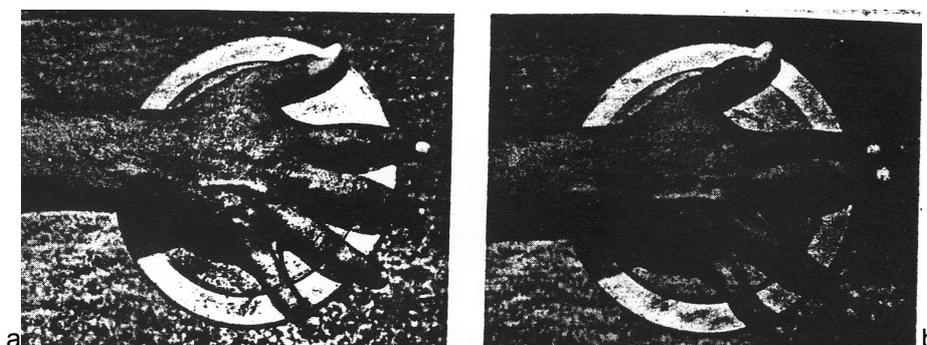


Figura 2.17. Tipos de agarre. Agarre en *garra o extendido* (a). Agarre con *dedos juntos* (b).

La mano de un lanzador experimentado se sitúa sobre los dos tercios posteriores del disco. Este agarre posterior ayuda al lanzador a desarrollar una transferencia máxima de energía en el instante de liberación (Silvester, 2003).

Además del agarre del disco al inicio del movimiento, en la bibliografía se cita la posición del disco durante el giro. En la literatura científica encontramos de nuevo dos variedades (Bush y Weiskopf, 1980; Burke, 1988; Knowles, 1997):

- Disco perpendicular al plano del suelo, que permite llevarlo a una posición más atrasada, ya que la tensión en los músculos del miembro superior y región pectoral son menores. El inconveniente es que en el momento de lanzar es necesario colocar el disco paralelo al suelo, y si ese cambio de posición no se realiza correctamente el vuelo del disco se verá perjudicado.
- Disco paralelo al suelo durante el giro, evita tener que realizar ese cambio de plano en última instancia antes de la liberación, pero impide que el disco alcance una posición más atrasada debido a la tensión que ejercen los músculos de la región pectoral y del miembro superior para que el disco no caiga.

Independientemente de la forma de agarre, cuando el disco esté sujeto únicamente por una mano, se mantendrá en su posición durante el movimiento gracias a la acción de la fuerza centrífuga que evitará su caída empujándolo contra las yemas de los dedos sobre las que se apoya su borde.

2.4.3.4 POSICIÓN INICIAL Y BALANCEOS PREVIOS

El propósito que debe buscar el lanzador al adoptar la posición inicial es el de proporcionar una base sólida de sustentación (Schwartz, 1982; Burke, 1988) y establecer una torsión amplia entre los ejes de caderas y de hombros (Kemp, 1988).

La posición inicial de partida ha sido progresivamente modificada a lo largo de los años con la intención de incrementar el tiempo a través del cual se puede aplicar fuerza al disco. Este incremento del tiempo se relaciona con recorridos de aceleración más largos, que garantizaran mayores velocidades de liberación del disco. La colocación en la parte posterior del círculo del lanzador ha evolucionado, desde una posición lateral del cuerpo a la dirección del lanzamiento (figura 2.19a),

desde la cual se efectuaba un giro y cuarto, a la posición actual, de espaldas a la dirección de lanzamiento (figura 2.19b), que proporciona un amplio rango de movimiento del disco de entre 7 a 11 metros tras realizar un movimiento de un giro y medio (Hay, 1993; Tidow, 1994).



Figura 2.18. Posición inicial (Silvester, 2003).

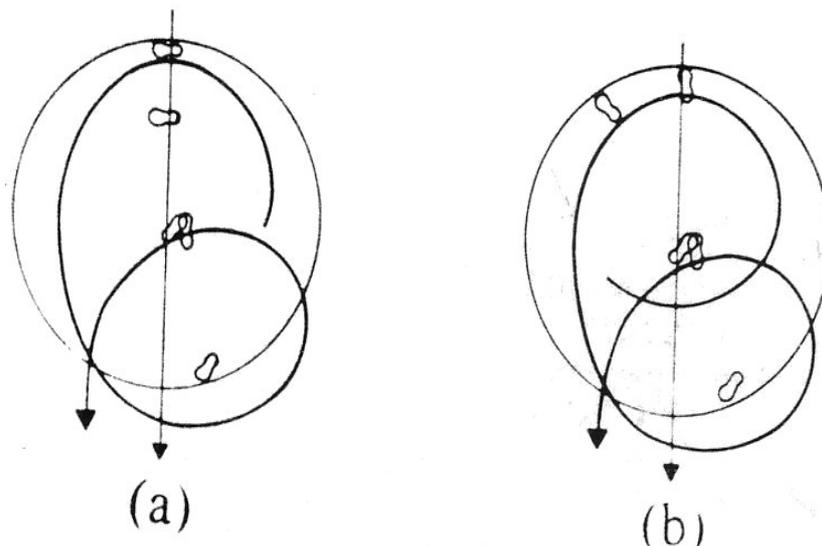


Figura 2.19. Evolución de la posición de los pies (Hay, 1993).

Se presupone que existe una relación óptima entre la longitud del recorrido de aceleración, la capacidad de generar fuerzas sobre el disco y la máxima velocidad de liberación del disco. Por tanto, un mayor aumento de la distancia de aceleración conseguida a través de un mayor número de giros, en teoría garantizaría mayores velocidades de salida del disco. Aunque se ha experimentado con estilos diferentes,

para lograr un mayor recorrido de aceleración del disco a base de realizar un mayor número de giros, éstos no garantizaban mayores velocidades de salida del disco, por consiguiente, se recomienda utilizar la técnica que conlleva un menor recorrido de aceleración pero que garantice mayores velocidades de salida y menores riesgos de lanzamiento nulo (Hay, 1993; Tidow, 1994; Carr, 1999).

El lanzador se sitúa en posición erecta, de espaldas a la dirección del lanzamiento, con las rodillas ligeramente flexionadas y el peso corporal repartido entre ambos apoyos. La posición de los pies debe ser paralela, pudiéndose atrasar el pie izquierdo ligeramente, y con una separación amplia (ligeramente mayor que la anchura de los hombros) y confortable que facilite las acciones posteriores del lanzador (Bush y Weiskopf, 1980; Morris, 1981; Schwartz, 1982; Paulsen, 1987; Burke, 1988; Tidow, 1994; Judge, 1996; Knowles, 1997; Cappos, 2000; Silvester, 2003).

Una posición amplia de los pies provocará, en las acciones posteriores, realizar mejor el cambio de peso, dar mayor fluidez al giro y optimizar la trayectoria de aceleración del disco (Knowles, 1997).

Aunque existe en la bibliografía consultada una amplia variación en la posición inicial de los pies durante los balanceos preliminares (Bartlett, 1992), se describen dos formas generalizadas de alinearse en la parte posterior del círculo (Webb, 1976; Judge, 1996; Silvester, 2003):

- Con un pie a cada lado de la línea de dirección de lanzamiento.
- Con el pie izquierdo sobre la línea de dirección de lanzamiento.

La posición del pie izquierdo a cada lado de la línea de dirección de lanzamiento induce a acortar ligeramente su posterior trayectoria hacia la frontal del círculo, permitiendo al lanzador alcanzar más rápidamente la "*Posición de Potencia*" final (Knowles, 1997).

La alineación más utilizada con pocas excepciones entre lanzadores de alto nivel consiste en colocar un miembro inferior a cada lado de la línea de dirección del lanzamiento. Así lo demuestran los datos del estudio de Hay y Yu (1996) en que analizaron los mejores lanzamientos de un grupo de 14 lanzadores y 15 lanzadoras

que participaron en dos competiciones (tabla 2.1). En este estudio se obtuvieron los valores de 51cm (con un rango de 29cm a 65cm) de desviación lateral entre la línea de dirección de lanzamiento y el pie izquierdo en hombres, y los valores de 63cm (con un rango de 29cm a 105cm) para el grupo de mujeres para la misma variable. Los valores de desviación lateral en los que se obtuvieron los lanzamientos más lejanos fueron de 55cm a 65cm para hombres y de 40cm a 70cm para mujeres.

Sin embargo existen modificaciones propias que definen el estilo personal del lanzador con relación a las alineaciones básicas. El lanzador de elite Hein-Direck Neu (Webb, 1976; Tidow, 1994) situaba inicialmente el pie izquierdo sobre el extremo más alejado de la línea de dirección de lanzamiento y el pie derecho en el centro del círculo sobre la misma línea formando un ángulo recto con esta.

Una vez colocado el lanzador en la posición de partida se realizan de uno a dos balanceos previos a modo de relajación a la vez que se establece el ritmo del lanzamiento, se rompe la inercia y se le proporciona al sistema lanzador + disco una velocidad inicial que facilitará el resto de los movimientos (Morris, 1981; Paulsen, 1987; Burke, 1988; Kemp, 1988; Bartlett, 1992; Maheras, 1992; Hay, 1993; Ecker, 1996; Judge, 1996; Silvester, 2003).

Estos movimientos son de una alta especificidad individual y no son considerados cruciales desde un punto de vista biomecánico, sin embargo, se cita en la bibliografía consultada que si el lanzador repite habitualmente el mismo patrón de movimiento en los balanceos previos en la misma posición inicial, facilitará lanzar exitosamente (Lindsay, 1991 citado por Bartlett, 1992; Bartlett, 1992).

Los balanceos previos consisten en mover el cuerpo y el disco repetidamente de izquierda a derecha con el objetivo final de llevar el disco a una posición lo más retrasada posible. Esta posición atrasada del disco respecto del lanzador, con los músculos anteriores del torso en tensión y que es denominada por algunos autores como "*Punto Muerto*" o "*Punto Cero*", será la posición de inicio del movimiento de giro hacia la dirección de lanzamiento (Maheras, 1992; Martínez, 1993, Ecker, 1996).

Los movimientos preliminares comportan balanceos del disco de izquierda a derecha que deben de ser acompañados por la traslación del centro de masas del lanzador en los mismos sentidos. En el movimiento del disco hacia el hombro izquierdo, el

lanzador puede de ayudarse con la mano izquierda sujetando el disco por la base para quitar tensión a la mano derecha. La ayuda de la mano izquierda permitirá mover el disco con una trayectoria más amplia y elevada a la vez que mantiene los músculos de los hombros y del torso relajados (Morris, 1981; Cappos, 2000). El último balanceo del disco hacia la derecha llevará al sujeto a adoptar la posición de inicio del gesto. El balanceo consiste en un movimiento que transcurre desde el hombro izquierdo hacia abajo y atrás alcanzando una posición por detrás del cuerpo a una altura entre las caderas y los hombros, una torsión del tronco hacia la derecha, una flexión de las rodillas en preparación para los siguientes movimientos y un traslado del centro de masas del lanzador sobre el pie derecho (Bush y Weiskopf, 1980; Woicik, 1983; Hay, 1993; Tidow, 1994; Judge, 1996, Silvester, 2003).

La flexión de las rodillas supone un descenso del centro de masas del sistema lanzador + disco, que proporciona un mayor equilibrio y también elonga los músculos del muslo; de ese modo el lanzador puede almacenar mayor energía redundando en una mayor producción de fuerza (Maheras, 1992; Knowles, 1997).

Los balanceos previos ayudan a vencer la inercia del cuerpo del lanzador, consecuentemente facilitarán de forma fácil y eficiente el trabajo de los movimientos sucesivos si éste los conecta con destreza con las acciones de lanzamiento posteriores y con la mínima pausa posible. Cualquier interrupción que ocurra tendrá un efecto negativo. Cuando un movimiento es ejecutado hacia una dirección dada, con el objetivo de maximizar la efectividad, no debe producirse ninguna pausa durante su realización con objeto de maximizar su ejecución (Maheras, 1992).

El llevar el disco lo más atrás posible supone adoptar una posición de extrema torsión, que será principalmente dependiente de la flexibilidad del lanzador. Esta posición de inicio se repite casi exactamente en los últimos instantes antes de la liberación del disco cuando el lanzador adopta de nuevo una posición de máxima torsión (Tidow, 1994; Silvester, 2003). El miembro superior izquierdo permitirá equilibrar la posición, llegando aproximadamente enfrente del cuerpo más o menos a la altura del pecho (Bush y Weiskopf, 1980).

Existe una variante entre lanzadores en el que los balanceos comienzan desde una posición más erguida, con las rodillas extendidas y el peso sobre el miembro inferior

derecho, lo que les permite llevar el disco a una posición ligeramente más elevada (Ward, 1969; Bush y Weiskopf, 1980; Bartonietz y cols. 1996).

Un aspecto que aparece en la bibliografía es la elevación de los talones. En el movimiento de trasladar el disco hacia una posición lo más retrasada posible, el lanzador se ayuda de una acción de pivote del pie izquierdo elevando el talón mientras el derecho permanece apoyado en el suelo (Tidow, 1994; Silvester, 2003). Por el contrario, Morris (1981) defiende que el retraso del disco se facilita elevando ambos talones.

Se recomienda en la bibliografía consultada que la posición de talones elevados se mantenga a lo largo de todo el gesto (Irving, 1980; Morris, 1981; Paulsen, 1987). Una de las ventajas de mantener los talones elevados es que reduce la superficie de contacto con el suelo y, por consiguiente, disminuye la fricción e incrementa la velocidad del gesto (Irving, 1980; Maheras, 1992). También facilita que los músculos de los miembros inferiores estén en un estado de pretensión anticipándose a las acciones de impulso de ambos pies (Irving, 1980).

El no llevar el disco lo más atrás posible al realizar el balanceo previo es considerado el error más importante de esta fase (Grigalka y Papanov, 1979). Las posibles causas de este error pueden ser la falta de flexibilidad que facilite la torsión entre caderas y hombros o la ausencia de movilidad y relajación en la parte superior del tronco (Grigalka, 1977; Kemp, 1988; Judge, 1996).

2.4.3.5 FASE DE PRIMER APOYO DOBLE

Los principales objetivos de esta fase son: trasladar el peso del cuerpo hacia el apoyo izquierdo del lanzador para adquirir velocidad e iniciar el giro sobre el eje longitudinal del cuerpo utilizando el apoyo izquierdo como punto de rotación o pivote hacia el centro del círculo (Ecker, 1978; Woicik, 1983; Burke, 1988; Hay, 1993; Altmeyer y cols. 1994b; Ecker, 1996; Dapena y Andersrt, 1997; Dapena y cols. 1997; Hillebrand y cols. 1984).

Una vez que el disco ha alcanzado su posición más atrasada, se inicia la fase con una acción de giro en sentido contrario a las agujas del reloj hacia la dirección de

lanzamiento. La rodilla izquierda rota ajustando su posición hacia la dirección del movimiento. Usualmente esta acción se ejecuta con el talón elevado y desde una acción de pivote sobre el metatarso del pie. El pie y la cadera se orientan hacia la dirección de lanzamiento acompañando a la acción de giro de la rodilla (Morris, 1991; Hay, 1993; Silvester, 2003).

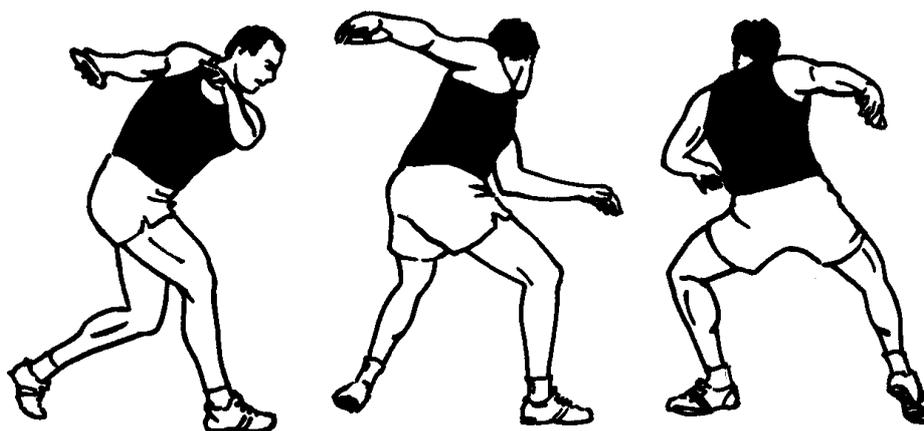


Figura 2.20. Secuencia de la *Fase de Primer Apoyo Doble* (Silvester, 2003)

Esta fase debe realizarse para establecer y mantener un adelantamiento de la línea de caderas sobre la de hombros y la de hombros sobre el disco, que continuará durante la siguiente fase (Grigalka y Papanov, 1979; Burke, 1988, Knowles, 1999). Comenzar la entrada al giro con los hombros es considerado por los técnicos deportivos un error técnico (Jones, 1991).

Se ha mencionado en el párrafo anterior que el giro inicial comienza habitualmente con el talón elevado y con un movimiento de pivote sobre los metatarsos de ambos pies (Bush y Weiskopf, 1980; Hay, 1993; Hay y Yu, 1996) aunque también existe entre lanzadores de élite una forma muy poco habitual de pivotar, como es la que ejecutaba Ilke Wyludda. Esta lanzadora giraba usando el talón al inicio y finalizando con el metatarso de forma muy similar al usado en la técnica de lanzamiento de martillo (Jones, 1991; Bartonietz y cols. 1996).

Durante la *Fase de Primer Apoyo Doble* el lanzador realiza fuerzas contra el suelo para generar rotación en forma de tirón – empuje (figura 2.21). Esta rotación deberá de ser ejecutada a un ritmo adecuado mientras se mantienen los miembros superiores ampliamente extendidos durante esta fase y la siguiente. La combinación

de una razonablemente alta velocidad angular y un gran momento de inercia, logrado por las posiciones alejadas de los miembros superiores, es lo que constituye un gran momento angular (Dapena, 1993; 1994b; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997).

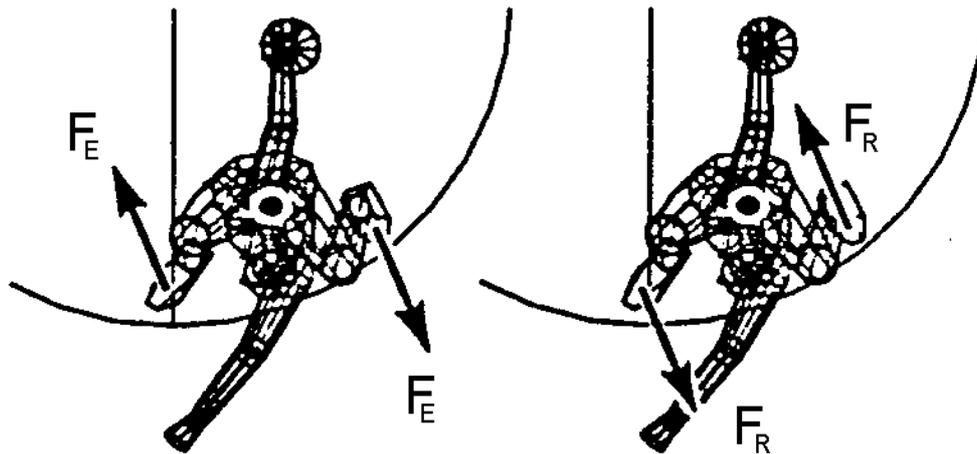


Figura 2.21. Dirección de las fuerzas. F_E : Fuerzas ejercidas contra el suelo. F_R : Fuerzas de reacción (Adaptado de Dapena, 1993)

El movimiento de rotación, en sentido contrario al de las agujas del reloj, realizado hacia la dirección de lanzamiento, se asocia con una traslación del centro de masas del lanzador desde el apoyo derecho hacia el izquierdo. Si el atleta no aproxima lo suficientemente el centro de masas al apoyo izquierdo en el instante de despegue del pie derecho, al iniciarse la siguiente fase, se creará un momento de fuerza igual al peso del sistema lanzador + disco, multiplicado por la distancia desde la vertical del centro de masas al apoyo izquierdo, que tenderá a hacer rotar al atleta lateralmente (figura 2.22).

Las experiencias prácticas indican que el efecto de desequilibrio que provoca el mencionado momento de fuerza, frecuentemente dirige al atleta a impulsar más lateralmente que lo deseado con el pie izquierdo. Esto conduce a un posterior apoyo del pie izquierdo, en la frontal del círculo, más hacia la izquierda que la posición deseada y, en consecuencia, un empeoramiento del lanzamiento. Por tanto, una traslación defectuosa del centro de masas hacia el apoyo izquierdo puede afectar de

forma importante al resto del gesto (Hay, 1993; Hay y Yu, 1996; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997).



Figura 2.22. Traslado del centro de masas del sistema lanzador + disco durante la *Fase de Primer Apoyo Doble* (Adaptado de Hay y Yu, 1996).

Para corregir este efecto, los técnicos deportivos frecuentemente enfatizan la importancia de trasladar el centro de masas directamente sobre el pie izquierdo mientras se mantiene el pie derecho en contacto (Morris, 1973a, 1973c; Bush y Weiskopf, 1980; Woicik, 1983; Bosen, 1985; Kemp, 1988; McEachran, 1988; Barclay, 1993; Judge, 1996; Silvester, 2003).

Hay y Yu (1996) diseñaron un estudio para examinar el efecto del cambio de peso sobre la colocación de los pies en la última fase del lanzamiento (tabla 2.1). De los resultados de este estudio se deduce que:

- La simple observación de las trayectorias del centro de masas durante el lanzamiento de disco revela que, a pesar de que el centro de masas se mueve invariablemente hacia el lado izquierdo del lanzador durante la primera fase, en ningún caso pasa directamente sobre el apoyo izquierdo antes del inicio de la posterior *Fase de Vuelo*. Esto sugiere que las recomendaciones que aparecen en la literatura dirigida a técnicos deportivos que indican que el centro de masas debería trasladarse directamente sobre el apoyo izquierdo antes del inicio de la *Fase de Vuelo* son erróneas o son una exageración intencionada para producir el resultado deseado.

- Existe una correlación que muestra que a menor distancia lateral entre el centro de masas y el apoyo izquierdo al inicio de la *Fase de Vuelo*, menor es la distancia entre el apoyo izquierdo y la dirección del lanzamiento en el instante en que el pie izquierdo apoya en la frontal del círculo en la última fase.

Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997) justifican esta correlación de forma teórica advirtiéndole que el no llevar el centro de masas suficientemente cerca del apoyo izquierdo, trae como consecuencia que en el instante de la siguiente fase, en el que el miembro inferior izquierdo comienza su empuje horizontal contra el suelo, el centro de masas estará por delante y a la izquierda de la posición del apoyo izquierdo y entonces, el empuje del pie contra el suelo no será directamente hacia atrás, sino en dirección oblicua hacia atrás y hacia la derecha. La fuerza de reacción del suelo, en consecuencia, será hacia delante y hacia la izquierda, y esto ocasionará que el centro de masas del sistema se dirija en dirección oblicua a través del círculo, hacia delante y hacia la izquierda, desviándose lateralmente el apoyo izquierdo de la dirección de lanzamiento en la última fase.

Hay y Yu (1996) observaron que los lanzadores de disco no llevan el centro de masas justamente hasta la vertical del apoyo pero no demostraron que el no completar la acción de traslación del centro de masas tuviera un efecto sobre la distancia de lanzamiento. Sin embargo, Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997) de forma teórica afirmaron que el no completar esta acción provocaría una dirección de movimiento del centro de masas del sistema lanzador + disco más oblicua con respecto a la dirección final horizontal del movimiento del disco en la liberación, provocando una menor contribución de la velocidad horizontal del sistema a la velocidad final horizontal del disco y, como consecuencia, una disminución de la distancia final lanzada.

Durante esta fase, ambos miembros superiores deberán permanecer alejados del eje de giro, lo que incrementará su momento de inercia, reducirá la velocidad de giro del tren superior, conservará la línea de hombros y el disco en una posición retrasada sobre los miembros inferiores y facilitará un mejor control sobre el giro (Ecker, 1996; Knowles, 1999).

La función del miembro superior libre (izquierdo) en esta fase consistirá en realizar una amplia rotación alrededor del cuerpo del lanzador en dirección contraria a las

agujas del reloj desde el instante en el cual el disco alcanza su posición más retrasada hasta el despegue del pie izquierdo al finalizar la siguiente *Fase de Primer Apoyo Simple* (Penzikov, 1989; Judge, 1996; Silvester, 2003). Por lo tanto, el miembro superior libre (izquierdo) debería ser lanzado de manera controlada, pero con una alta velocidad, lejos del punto medio del cuerpo y sobre un rango de movimiento lo más alargado posible (Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997).

Algunos lanzadores mantienen extendido el miembro superior libre (izquierdo) en su acción, otros lo flexionan por el codo, pero todos realizan un amplio balanceo. El balanceo se prolongará hasta alcanzar la altura del muslo izquierdo sin sobrepasarlo. Un adelantamiento del miembro superior libre (izquierdo) sobre el muslo del mismo lado sería considerado un error técnico, que indicaría una anticipación de la rotación de la parte superior con respecto a la inferior (Schwartz, 1983; Buhantsov y Papanov, 1988; Knowles, 1997; Silvester, 2003).

Para la medida de la acción del miembro superior libre (izquierdo) Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997) propusieron en su estudio el cálculo de una nueva variable denominada por los propios autores como "*Acción del Brazo Libre*" (izquierdo) ("*Left Arm Action*"). La "*Acción del Brazo Libre*" es la integral respecto al tiempo del momento angular del miembro superior libre (izquierdo) respecto al eje vertical que pasa a través del centro de masas del sistema lanzador + disco entre los instantes de inicio de la *Fase de Primer Apoyo Doble* y el final de la *Fase de Primer Apoyo Simple*, normalizada para la estatura y el peso del sujeto.

Dapena y Anderst (1997) realizaron un amplio informe sobre el lanzamiento de disco en categoría masculina (tabla 2.1). Este informe indicaba que los valores medios de las distancias oficiales alcanzadas en los lanzamientos analizados fueron de 58.44 m (SD 2.98) que proporciona una idea del nivel de los sujetos de estudio. El valor medio obtenido en la "*Acción del Brazo Libre*" (izquierdo) en las dos primeras fases fue de $33.8 \text{Kg}\cdot\text{m}^2\cdot 10^{-3}/\text{Kg}\cdot\text{m}^2$ (SD 4.0).

Dapena y cols. (1997) en un informe similar con idéntico método de análisis cinemático sobre la técnica de las lanzadoras (tabla 2.1), señalaron que los valores medios de las distancias oficiales alcanzadas en los lanzamientos analizados fueron de 56.16 m (SD 4.00), lo que da una idea del nivel de los sujetos de estudio y el

valor medio obtenido de la “*Acción del Brazo Libre*” (izquierdo) en las dos primeras fases fue de $29.5\text{Kg}\cdot\text{m}^2\cdot 10^{-3}/\text{Kg}\cdot\text{m}^2$ (SD 4.4).

Si el valor de la “*Acción del Brazo Libre*” (izquierdo) de un atleta es pequeño puede ser debido o bien a un momento angular del miembro superior libre (izquierdo) reducido o bien a una corta duración de la fase o a ambos factores a la vez. Para distinguir entre las posibilidades es necesario comparar los valores de estos dos factores. Si la conclusión es que el momento angular del miembro superior libre (izquierdo) es reducido, la explicación podría ser debido o a una velocidad lenta de rotación o a una distancia corta entre el centro de masas de la extremidad superior y el centro de masas del sistema (Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997).

Los autores (Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997) asocian una débil “*Acción del Brazo Libre*” (izquierdo) con una menor momento angular en el instante en que el pie izquierdo apoya en la frontal del círculo al inicio de la *Fase Final* del lanzamiento. Un valor pequeño obliga al lanzador a ganar mayor momento angular en la *Fase Final* que teóricamente, según los autores, es más complicado. Dicha dificultad sería debida probablemente a que el lanzador, en la última fase, esté rotando tan rápidamente alrededor de su eje vertical que a los pies les resulte imposible efectuar fuerzas de tirón – empuje contra el suelo que generen más momento angular (Dapena, 1993; 1994b; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997).

Existe un conflicto en la bibliografía consultada sobre la importancia de los movimientos ejecutados en esta fase (Bartlett, 1992). Ciertos técnicos deportivos (Abdelmalek y cols. 1994) y autores (Dapena, 1994a; Hay y Yu, 1996; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997) consideran que los movimientos de las fases iniciales son fundamentales para el devenir de las últimas fases; otros (Stepanek, 1986; Stepanek y Susanka, 1987; Susanka y cols. 1988; Knicker, 1992) los consideran de una importancia menor.

Hay y Yu (1996) opinan que el cambio del centro de masas hacia la izquierda y sobre el pie izquierdo durante esta fase es un movimiento que afecta sustancialmente al éxito final del lanzamiento. Dapena y Anderst (1997) valoraron la acción del miembro superior libre como el mayor contribuyente al aumento de la rotación del sistema.

Schöllhorn (1989) (citado por Bartlett, 1992) concluyó que los movimientos de esta fase presentan muchas diferencias individuales y no encontraron una correlación significativa entre la velocidad final de liberación y la longitud de la trayectoria del disco durante la primera fase. Del mismo modo, Schlüter y Nixdorf (1984) tampoco encontraron una correlación entre la velocidad de liberación y cualquier duración de *Fase de Primer Apoyo Doble* o con la ganancia de velocidad del disco en esta misma fase, a pesar de que alrededor del 25% de la velocidad final de liberación del disco se genera en dicha fase. Por todo ello, se concluye que son necesarios más estudios biomecánicos que analicen la importancia de los movimientos realizados en esta fase.

2.4.3.6 FASE DE PRIMER APOYO SIMPLE

La finalidad de esta fase es generar el mayor impulso posible para que el atleta en la siguiente fase pueda trasladarse a través del círculo (Woicik, 1983; Burke, 1988; Knowles, 1997).



Figura 2.23. Secuencia de la Fase de Primer Apoyo Simple (Silvester, 2003)

El lanzador inicia la *Fase de Primer Apoyo Simple* alzando el pie derecho desde el suelo, pivotando sobre el metatarso del pie de apoyo (izquierdo) y balanceando el miembro inferior libre (derecho) alrededor de él hacia su izquierda en dirección a la frontal del círculo (Morris, 1981; Hay y Yu, 1995b).

El instante en el que el pie libre (derecho) debe despegar del suelo y la manera de conducir el miembro inferior libre (derecho) alrededor del lanzador en dirección a la frontal del círculo ha sido objeto de debate en la bibliografía consultada sin alcanzar un consenso definitivo (Kemp, 1988; Bartlett, 1992; Hay, 1993; Tidow, 1994; Hay y Yu, 1995b; Jones, 1995; Knowles, 1997; Silvester, 2003). En la bibliografía consultada aparecen dos estilos diferentes:

- Mantener mientras sea posible el contacto del pie derecho con el suelo y entonces llevarlo cerca del pie de apoyo (izquierdo) cuando éste despegue hacia delante por el empuje a través del círculo.
- Alzar el pie libre (derecho) mucho antes, llevando el miembro inferior libre (derecho) con una ligera flexión de rodilla alrededor del lanzador en dirección frontal con una acción de balanceo amplio.

Susanka y cols. (1988) analizaron la técnica del lanzamiento de disco utilizada por los finalistas del Campeonato del Mundo de 1987 celebrado en Roma (tabla 2.1). Utilizaron la técnica de cinematografía tridimensional de alta velocidad (200Hz). Para evaluar los movimientos de acompañamiento de las extremidades inferiores observaron las coordenadas tridimensionales de los marcadores correspondientes a las puntas de los pies libre (derecho) y apoyo (izquierdo) a lo largo del lanzamiento. Los resultados del estudio demostraron una gran variedad de movimientos en los lanzadores estudiados y aunque los autores no proporcionaron una discusión detallada de los datos, sugirieron que se podría lograr una mayor aceleración mediante una aproximación del miembro inferior libre (derecho) al eje de rotación y que una elevación excesiva del pie libre (derecho) durante esta fase sería perjudicial para la ejecución de los movimientos que le acompañan.

Lindsay (1991) (citado por Bartlett, 1992) apuntó que algunos lanzadores llevan el pie libre (derecho) cerca del pie de pivote, mientras que otros emplean un balanceo amplio. El autor concluye que no está claro si el balanceo amplio ofrece una ventaja significativa en relación con el momento angular.

Bartonietz y cols. (1996) en un análisis cualitativo de los finalistas masculinos y femeninos del Campeonato del Mundo celebrado en Goteborg en 1995, observaron que entre los finalistas estudiados se daban los dos diferentes estilos de conducción

del miembro inferior libre (derecho) hacia la frontal del círculo, aunque los autores no discutieron sobre las ventajas de la utilización de un estilo u otro.

Defensores de la técnica de un amplio balanceo argumentan su recomendación de que ésta incrementa a la vez el momento de inercia del lanzador y, siempre que no haya pérdida de velocidad angular, su momento de angular, lo que proporcionará mayor aceleración cuando se apoye el pie libre (derecho) en el centro del círculo (Morris, 1973c; Ecker, 1978; Amundsen, 1987; Bartlett, 1992; Maheras, 1992; Tidow, 1994; Hay y Yu, 1995; Ecker, 1996; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997; Knowles, 1997).

Hay y Yu (1995b) obtuvieron datos tridimensionales de vídeo (60 Hz) de los mejores lanzamientos en dos competiciones de 14 lanzadores masculinos y 15 femeninos para examinar la acción del miembro inferior libre (derecho) (tabla 2.1). Los datos del estudio ilustran las marcadas diferencias que existen entre lanzadores de elite con relación al balanceo del miembro inferior libre (derecho) en esta fase (figura 2.24). Tras un análisis de correlación, los autores indicaron que un balanceo amplio del miembro inferior libre (derecho) estaba asociado con un gran momento angular al finalizar la fase para la categoría femenina. Mientras que para la categoría masculina no encontraron tal relación, posiblemente debido a la menor variabilidad en ambas medidas. En el mismo estudio obtuvieron, tanto para categoría masculina como para femenina, que un mayor momento angular al finalizar la *Fase de Primer Apoyo Simple* se relaciona con una mayor velocidad de liberación del disco.

En la misma línea, se sitúan las recomendaciones de Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997) que aconsejan tanto para la categoría masculina como para la femenina que después de la elevación del pie libre (derecho), el miembro inferior libre (derecho) debería realizar, de forma controlada, una amplia y rápida rotación en sentido contrario a las agujas del reloj alrededor del lanzador, para lograr que éste sea lanzado fuertemente en dirección a la frontal del círculo. Esta acción del miembro inferior libre (derecho) facilitaría la generación de momento angular horizontal, ayudando al pie de apoyo (izquierdo) a ejercer las fuerzas contra el suelo necesarias para la generación de momento angular. Por lo tanto, los autores aconsejan que el miembro inferior libre (derecho) debería ser propulsado de forma controlada, pero veloz, lejos del centro del cuerpo del lanzador y sobre un rango de

movimiento lo más amplio posible. Sin embargo, estas recomendaciones son teóricas ya que en ambos estudios no se aportan correlaciones estadísticas que fundamenten tal postulado.

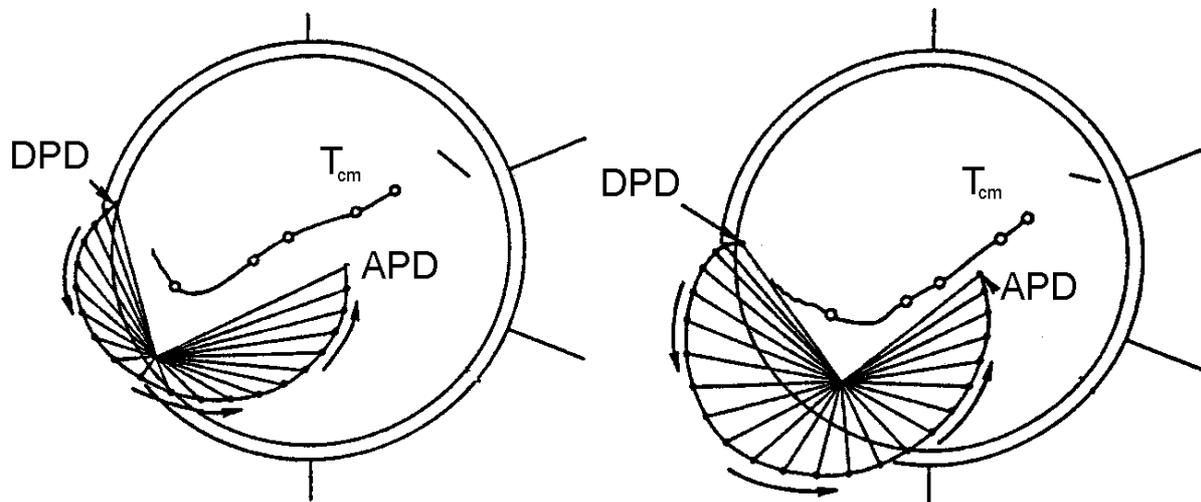


Figura 2.24. Trayectoria del miembro inferior libre y distancia entre las puntas de los pies durante la *Fase de Primer Apoyo Simple*; y trayectoria seguida por el centro de masas del sistema lanzador + disco (T_{cm}) desde el inicio del gesto hasta la liberación del disco. En el gráfico se han marcado los instantes de despegue pie derecho (DPD) y apoyo pie derecho (APD) (Adaptado de Hay y Yu, 1995b).

La variable biomecánica propuesta por Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997) par medir esta combinación de características fue la integral del momento angular del miembro inferior libre (derecho), que será denominada “*Acción Pierna Libre*” (derecha) (“*Right Leg Action*”). La “*Acción Pierna Libre*” (derecha) se define como la integral respecto del tiempo del momento angular del miembro inferior libre (derecho) sobre el eje vertical que pasa a través del centro de masas del sistema lanzador + disco durante la *Fase de Primer Apoyo Simple*, normalizada con la estatura y peso del sujeto.

Dapena y Anderst (1997) en su estudio (tabla 2.1) obtuvieron para la categoría masculina un valor medio de $24.9 \text{Kg}\cdot\text{m}^2\cdot 10^{-3} / \text{Kg}\cdot\text{m}^2$ SD 3.9 en el parámetro “*Acción Pierna Libre*” (derecha) para 24 lanzamientos analizados con cinematografía tridimensional cuyos valores medios de las distancias oficiales alcanzadas en los lanzamientos fueron de 58.44m SD 2.98.

Dapena y cols. (1997) en su estudio (tabla 2.1) obtuvieron para categoría la femenina un valor medio de $28.5 \text{Kg}\cdot\text{m}^2\cdot 10^{-3} / \text{Kg}\cdot\text{m}^2$ SD 5.6 en el parámetro “*Acción*

Pierna Libre” (derecha) para 17 lanzamientos analizados con cinematografía tridimensional para unos valores medios de las distancias oficiales alcanzadas en los lanzamientos de 56.16m SD 4.00.

Tidow (1994) en un artículo de revisión de la técnica del lanzamiento de disco propuso que, presumiblemente, un lanzador elige un estilo u otro del balanceo del miembro inferior libre (derecho) en función del ritmo individual de lanzamiento. El balanceo del miembro inferior libre (derecho) influiría considerablemente, e incluso determinaría, el ritmo de lanzamiento.

Con la elevación del pie libre (derecho) continúa la rotación en dirección contraria a las agujas del reloj hacia la dirección de lanzamiento hasta que el hombro y rodilla del lado izquierdo estén alineados con la dirección de lanzamiento. En esta situación, el miembro inferior de apoyo (izquierdo) se comportará como un poste y el cuerpo girará alrededor de él. Debido a este movimiento hacia el interior del círculo el grado de torsión entre la línea de hombros y caderas disminuirá. La elevación del miembro inferior libre (derecho) provocará una inclinación natural de las extremidades inferiores en la dirección de lanzamiento que adelantará la vertical del centro de masas respecto al apoyo izquierdo. Cuando el miembro inferior libre (derecho) en su balanceo se encuentre cercano a la línea de lanzamiento, éste tendrá la rodilla considerablemente extendida; entonces a la vez que continúe la rotación hacia la dirección de lanzamiento, flexionará la rodilla y la elevará ligeramente hacia el torso adoptando una postura denominada por algunos autores como posición de “*sprint*” por su similitud a la adoptada por los velocistas en la salida de tacos (Morris, 1973c; Irving, 1980; Buhantsov y Papanov, 1988; Penzikov, 1991; Altmeyer y cols. 1994). Esta elevación de la rodilla del miembro inferior libre (derecho) contribuirá a la acción de impulso que ocurrirá cuando el lanzador encare la dirección de lanzamiento y el miembro inferior de apoyo (izquierdo) empuje al lanzador hacia delante abandonando la parte posterior del círculo (Altmeyer y cols. 1994; Cappos, 2000; Silvester, 2003).

La acción de empuje del pie de apoyo (izquierdo) en esta fase ha sido una acción técnica estudiada en la bibliografía consultada. Amundsen (1987) en una comparativa cualitativa entre cuatro lanzadores de categoría mundial relacionó una buena acción de empuje del miembro inferior de apoyo (izquierdo) con una alto

grado de extensión de la rodilla y cadera izquierda. Al tratarse de un estudio cualitativo no adjuntó ningún dato numérico, ni relación causal estadística. Del mismo modo Bosen (1985) relacionó una incompleta extensión del miembro inferior de apoyo (izquierdo) con un pobre impulso del lanzador hacia el centro del círculo. En cambio, Knowles (1997) no recomienda una extensión completa del miembro inferior de apoyo (izquierdo), ya que un menor grado de extensión ayudaría a acortar y acelerar el apoyo en el centro del círculo.

Bartlett y cols. (1991) diseñaron un estudio con el objeto de medir la distribución de presiones sobre la superficie de la planta del pie izquierdo durante el lanzamiento del disco. Para ello utilizaron una plantilla de presiones en el pie izquierdo con una frecuencia de muestreo de 100Hz. Se analizó un solo sujeto de un considerable nivel, que realizó tres lanzamientos, con una media superior a los 50m. El mayor pico de presiones durante la ejecución del lanzamiento de disco fue registrado durante el empuje de la *Fase de Primer Apoyo Simple* sobre los metatarsos 2º y 5º. Dichos picos de presiones fueron ligeramente menores que aquellos obtenidos en estudios de triple salto y carrera.

Yu y cols. (2002) realizaron un estudio con dos objetivos claros: a) investigar la relación entre las medidas de las fuerzas de reacción durante el lanzamiento de disco y la distancia oficial alcanzada; y b) analizar la relación entre las medidas de fuerzas de reacción y la cinemática de las articulaciones del miembro inferior. Los autores analizaron los mejores intentos de 8 sujetos masculinos en condiciones de entrenamiento realizando un análisis cinemático – cinético sincronizado. Para la recopilación de los datos cinemáticos tridimensionales utilizaron tres videocámaras (60Hz) y para los datos cinéticos tres plataformas de fuerzas (1000Hz), colocadas en el círculo de lanzamiento en forma de "I". La relación entre las medidas fue determinada a través de un análisis de regresión lineal. Los resultados más relevantes de este estudio para esta fase fueron:

- El impulso hacia delante sobre el pie de apoyo (izquierdo) durante esta fase obtuvo una correlación significativa con la distancia oficial ($p = 0.06$). Esta relación indica que a mayor impulso, mayor distancia oficial.
- El pico máximo de fuerza de reacción horizontal hacia delante y el impulso hacia delante sobre el pie de apoyo (izquierdo) estaban correlacionados

significativamente ($p = 0.001$). Esta relación indica que a mayor pico de fuerza de reacción hacia delante, mayor impulso.

- El impulso vertical sobre el pie de apoyo (izquierdo) durante esta fase tuvo una correlación significativa con la distancia oficial ($p = 0.05$). Esta relación indica que a mayor impulso vertical, mayor distancia oficial.

A partir de los resultados del estudio, los autores sugirieron que las fuerzas de reacción sobre el pie de apoyo (izquierdo) durante esta fase afectan a la distancia final alcanzada al incrementar la velocidad hacia delante del sistema lanzador + disco durante esta fase. Consecuentemente, a mayor velocidad hacia delante del sistema lanzador + disco, mayor distancia oficial. Del mismo modo la correlación significativa entre impulso vertical sobre el pie de apoyo (izquierdo) y la distancia oficial indica, para un cierto rango, que puede existir una óptima altura del vuelo durante la siguiente fase (Yu y cols. 2002).

Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997) también recomiendan en sus estudios (tabla 2.1) que el lanzador en esta fase empuje hacia atrás contra el suelo para obtener un buen impulso hacia delante para atravesar el círculo de lanzamiento (figura 2.25). No obstante, si el lanzador no lleva el centro de masas lo suficientemente cerca de la vertical del apoyo izquierdo (como usualmente ocurre), probablemente deberá impulsar con mayor fuerza para dirigirse en dirección oblicua a través del círculo para compensar esa desviación lateral. La dirección y magnitud de la velocidad horizontal del centro de masas del sistema lanzador + disco también se analizaron en estos estudios. El valor medio de la velocidad horizontal del centro de masas del sistema en categoría masculina en el instante en que el pie de apoyo (izquierdo) pierde contacto con el suelo fue de 2.4m/s SD 0.2. La dirección de movimiento fue oblicua hacia delante y ligeramente hacia la izquierda con un ángulo con respecto a la línea media del círculo de lanzamiento de -23° SD 9 (el signo negativo del ángulo indica que la desviación fue hacia la izquierda) (Dapena y Anderst, 1997). Los valores medios de las mismas variables para la categoría femenina fueron de 2.4m/s SD 0.3 y -20° SD 7 (Dapena y cols. 1997).

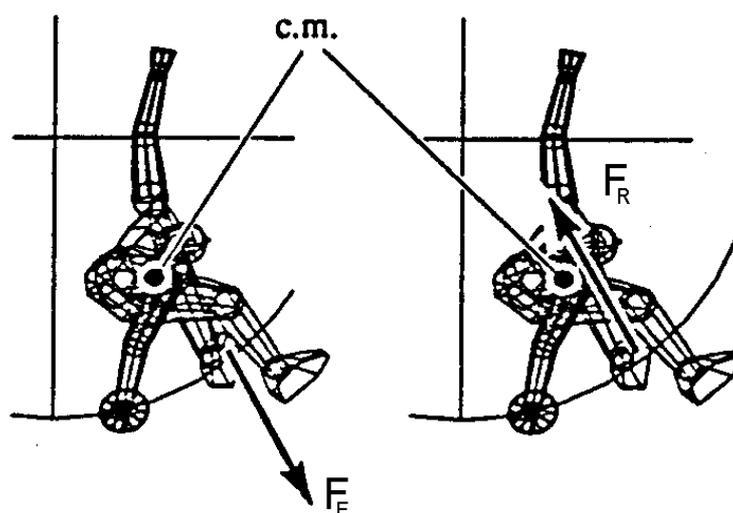


Figura 2.25. Instante de despegue del pie izquierdo. Se han señalado en el dibujo el centro de masas del sistema lanzador + disco (c.m.), las fuerzas ejercidas contra el suelo (F_E) y las fuerzas de reacción (F_R) (Adaptado de Dapena y Anderst, 1997).

Con el objetivo de mantener un impulso a través del círculo de lanzamiento en línea con la dirección de lanzamiento y con la menor desviación lateral posible, los técnicos deportivos recomiendan a sus lanzadores que predeterminen un punto focal (un punto fijo sobre el nivel de la horizontal directamente en línea con la dirección de lanzamiento) e impulsar hacia él (Woicik, 1983; Kenneson, 1985; Steben, 1986; Paulsen, 1987). Mantener el punto focal en el momento de la torsión garantiza, además, el retraso de los miembros superiores por detrás de los movimientos de las caderas (Bus y Weiskopf, 1980; Knowles, 1997).

La acción del miembro superior libre (figura 2.26) ha de continuar la acción iniciada en la fase anterior permaneciendo extendido y alejado del eje de giro, describiendo, de forma controlada pero con una alta velocidad, una trayectoria amplia alrededor del eje de giro del lanzador (Silvester, 1988; Tidow, 1994; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997). El miembro superior libre (izquierdo) debería rezagarse por detrás del giro de la rodilla del miembro inferior de apoyo (izquierdo), evitando un balanceo excesivo que provoque una considerable pérdida de torsión entre los ejes de caderas y hombros (Kemp, 1988; Barclay, 1993; Judge, 1996; Knowles, 1997; Silvester, 2003). Un descenso del miembro superior libre (izquierdo) en esta fase, consecuentemente hundirá el lado izquierdo y provocará a una pérdida de equilibrio en el centro del círculo (Knowles, 1997).

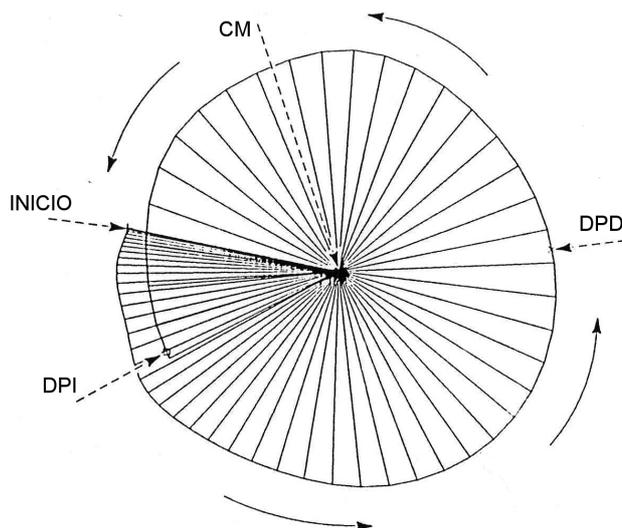


Figura 2.26. Acción del miembro superior libre durante las fases de *Primer Apoyo Doble* y *Primer Apoyo Simple*. Se han señalado en el gráfico los instantes de inicio del movimiento (INICIO), despegue pie derecho (DPD), despegue pie izquierdo (DPI) y el centro de masas del sistema lanzador + disco (CM) (Adaptado de Dapena y Anderst, 1997).

De igual modo, el miembro superior ejecutor (derecho) permanecerá totalmente extendido y lo más atrasado posible. Esta posición de extremidades superiores abiertas evitará que la parte superior del cuerpo se adelante a la inferior manteniendo la rotación (Tidow, 1994; Ecker, 1996).

Aunque se recomienda de forma generalizada que el disco permanezca alejado del cuerpo hay lanzadores que acercan el disco (Knowles, 1997). Lanzadores de disco de categoría mundial como Rink Babke, John Powell y Imrich Bugár, intentaban mantener el disco cercano a su cuerpo al inicio de la *Fase de Primer Apoyo Simple* con el objetivo aparente de aumentar la velocidad de rotación en esta fase (Ward, 1969; Morris, 1973b; Amundsen, 1987).

El movimiento del disco cuando este se traslada a lo largo del círculo de lanzamiento desde el inicio a la liberación no es totalmente paralelo a la horizontal sino que se desplaza describiendo una figura parecida a una “ola” (figura 2.27). Cuando el disco está en una posición directamente opuesta a la dirección de lanzamiento, éste se encuentra en una posición baja; y cuando está en la misma dirección de lanzamiento se encuentra en una posición alta (Wilkins, 1987a; Silvester, 2003).

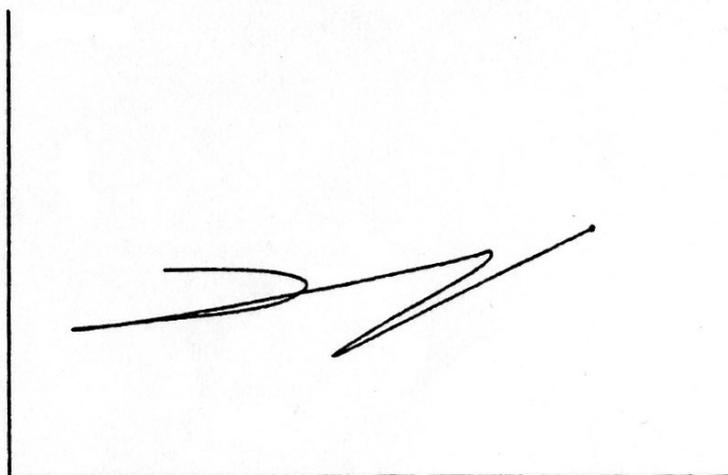


Figura 2.27. Vista desde el plano sagital de la trayectoria del disco en un lanzador de categoría élite (Adaptado de Silvestre y McCoy, 1995).

En esta *Fase de Primer Apoyo Simple* el disco alcanza por primera vez una posición baja. Susanka y cols. (1988) en su estudio (tabla 2.1) obtuvieron valores de 0.87m SD 0.13 en categoría masculina y valores inferiores, 0.77m SD 0.11, en femenina. Silvester y McCoy (1995) estudiaron la trayectoria del disco en dos grupos diferentes: lanzadores de categoría júnior y lanzadores de categoría absoluta, ambos grupos de categoría masculina (tabla 2.1). Los resultados indicaron que durante la *Fase de Primer Apoyo Simple* los atletas absolutos descendían el disco a una altura correspondiente al 49.4% de su estatura, mientras que los atletas de categoría junior lo descendían al 55.8%.

En el lanzamiento de disco el lanzador inicia el movimiento con una velocidad del disco de cero o próxima a ella, y debe incrementarla hasta un valor por encima de los 23m/s en un breve período de tiempo si quiere lanzar el disco más allá de los 60m. La evolución de la velocidad del disco a lo largo del movimiento ha sido de objeto de estudio en varios trabajos (Schlüter y Nixdorf, 1984; Hay y Yu, 1995a; Knicker, 1999). En las dos primeras fases existe un incremento de la velocidad del disco de entre el 20 y el 35% de la final alcanzada en la liberación (Schlüter y Nixdorf, 1984; Hay y Yu, 1995a; Knicker, 1999). Pero este incremento de velocidad no se encuentra correlacionado ni con la velocidad de liberación ni con la distancia oficial lograda (Schlüter y Nixdorf, 1984; Hay y Yu, 1995a; Knicker, 1999).

Bartlett (1992) comenta que ni la visión generalizada de que en las dos primeras fases es necesario establecer y mantener una ventaja del eje de caderas sobre el eje de hombros y éste sobre el disco (Schwartz, 1983; Thieurmel, 1987), ni que el argumento que tal ventaja no es necesaria en esta etapa y puede ser obtenida en la siguiente, no están basados en evidencias científicas. Los resultados tanto de estudios cualitativos (Bartoniets y cols. 1996) como de estudios cuantitativos (Susanka y cols. 1988; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997) con lanzadores de élite demuestran que existen gran variabilidad en los resultados encontrados en el ángulo de torsión entre los ejes de hombros y caderas a lo largo de estas dos primeras fases como para confirmar la relevancia de este factor (figura 2.28). Sin embargo, hay autores (Susanka y cols. 1988; Lindsay, 1991 citado por Bartlett, 1992) que sí encuentran relevantes las acciones realizadas en fases posteriores para desarrollar la torsión previa a la última fase. Esta afirmación podría sostener la opinión de algunos autores (Wilt, 1983; Jonson, 1985; Lindsay, 1993) que piden una reevaluación de este aspecto técnico.

En la bibliografía consultada existe un debate sobre si el lanzador en las primeras fases del lanzamiento debe ser más o menos activo. Hay autores (Ecker, 1978; Dapena, 1993; 1994b; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997; Knowles, 1999) que afirman que el lanzador no solamente debería llegar al inicio de la última fase en una buena posición y ejecutar ésta de forma muy activa, sino que también debería ser muy activo en las primeras fases del lanzamiento, ya que en éstas es cuando las fuerzas de reacción del suelo proporcionarían al lanzador el mayor momento angular que será transferido al disco durante las últimas fases. Por el contrario hay autores (Carr, 1979a, 1979b; Vrable, 1994; Judge, 1996) que opinan que el lanzador debería esforzarse en ejecutar una *Fase Final* de liberación “tan activa” como sea posible, después de unas moderadas fases previas y un incremento gradual de la velocidad de giro hasta un nivel que haga posible la ejecución de la *Fase Final* de manera óptima. Así la primera parte del lanzamiento sería una mera preparación para el inicio de la *Fase Final*; y se debería poner el énfasis en alcanzar una buena posición de salida final y ejecutar una muy dinámica fase de liberación. El lanzador usando este estilo comenzaría de forma lenta a moderada y finalizaría con un lanzamiento explosivo.

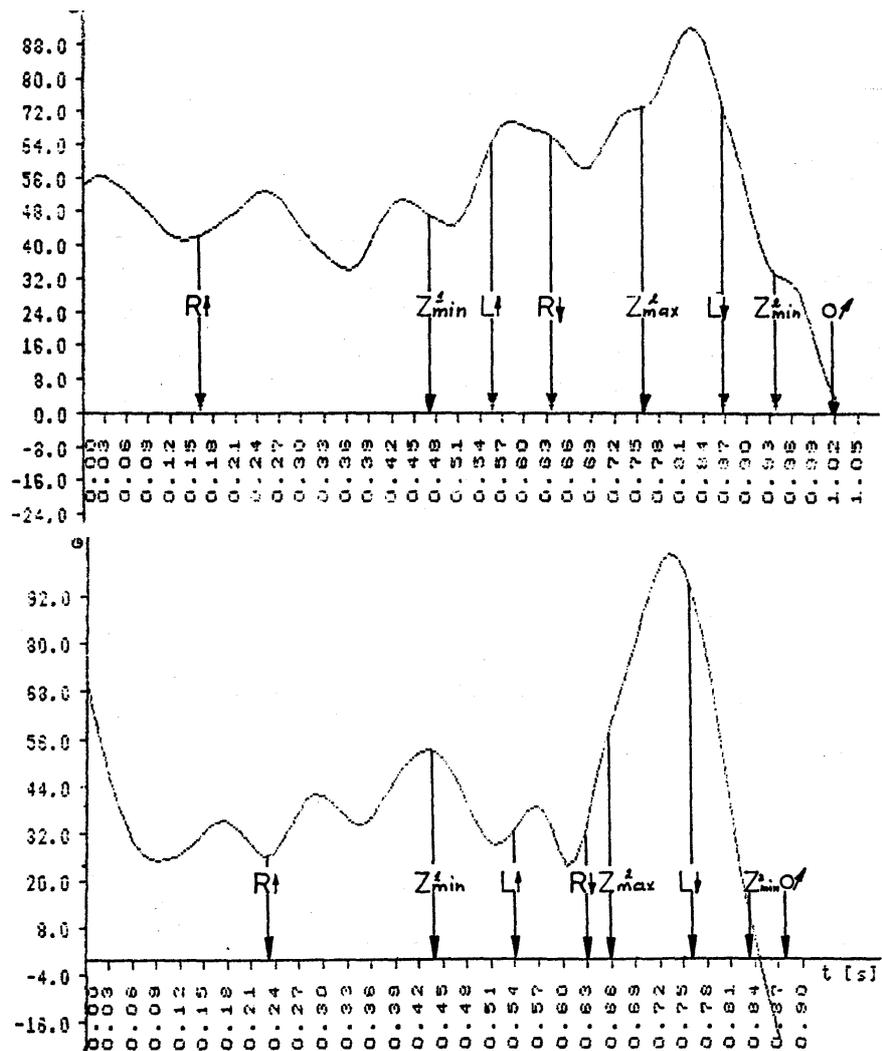


Figura 2.28. Variación del ángulo (γ) entre la línea de hombros y caderas a lo largo del lanzamiento en dos lanzadores diferentes (Adaptado de Susanka y cols. 1988)

Aunque parezca que ambas opiniones son opuestas existe un consenso entre ambas posturas. Ambas opiniones defienden que los mejores resultados pueden ser alcanzados haciendo que la *Fase Final* sea rápida. Pero los resultados de los estudios (Dapena, 1993; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997) indican que los lanzadores generan mayor momento angular sobre el eje vertical durante las dos primeras fases a través de la interacción entre los pies y el suelo. Y que esto no necesariamente significa que el atleta se apresure en sus movimientos acelerando el disco con anticipación sino al contrario; la opinión general es que el disco debería permanecer por detrás del tronco hasta el inicio de la última fase. El lanzador en las primeras fases deberá ejecutar una rotación a una velocidad razonablemente elevada sobre el eje vertical mientras mantiene los miembros superiores y,

posteriormente, el miembro inferior libre ampliamente extendidos durante las primeras fases.

Hay y Yu (1996) en su estudio obtuvieron resultados que indicaban una correlación entre momento angular alcanzado al finalizar la Fase 2 y la distancia oficial, tanto en categoría femenina ($r = 0.66$; $p < 0.01$) como en masculina ($r = 0.84$; $p < 0.001$). Consecuentemente, los autores concluyeron que a mayor momento angular al finalizar la Fase 2, mayor fue la distancia oficial del lanzamiento. Estos resultados apoyan las conclusiones de Dapena (1993, 1994b).

2.4.3.7 FASE DE VUELO

El principal objetivo de esta fase es lograr un estiramiento de los músculos rotadores del tronco y aductores de la extremidad superior ejecutora (derecho) que incrementen la ventaja del eje de caderas sobre el eje de hombros y éstos a su vez mantengan la anticipación sobre la extremidad superior ejecutora y el disco (Bartlett, 1992; Hay, 1993; Knowles, 1997).

Durante el corto intervalo de tiempo en que el atleta está en el aire, las caderas rotan anticipándose a la línea de hombros, que a su vez mantiene su anticipación sobre el miembro superior ejecutor y sobre el disco (Morris, 1981; Hay, 1993). El tobillo se flexiona dorsalmente como medida de pre-activación de los músculos de la pierna para realizar un apoyo activo en la siguiente fase (Bartonietz y cols. 1996). Al finalizar el vuelo el atleta mantendrá el disco por detrás de la cadera derecha consiguiendo una posición de torsión y una pretensión de los músculos del tren superior. El movimiento de las caderas hacia una posición adelantada respecto a la línea de hombros se facilita si el atleta realiza las siguientes acciones (Morris, 1981; Amundsen, 1987; Susanka y cols. 1988; Hay, 1993; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997):

- Aducción de caderas; que reducirá el momento de inercia respecto al eje longitudinal e incrementará la velocidad angular de los miembros inferiores.

- Mantenimiento del miembro superior ejecutor (derecho) y el disco alejados del eje de rotación para incrementar el momento de inercia de la parte superior del cuerpo y así reducir su velocidad angular.
- Acortamiento del radio y disminución de la velocidad de giro del miembro superior libre (izquierdo) frenándolo y llevándolo próximo al cuerpo en un intento deliberado de mantener los hombros en posición retrasada respecto a las caderas.

El lanzador en la fase anterior estaba con las extremidades alejadas del eje de giro lo que le daba una posición abierta (momento de inercia elevado); pero con las acciones descritas en los párrafos anteriores, el lanzador aproxima sus miembros al eje de giro longitudinal con lo que disminuye su momento de inercia. El lanzador al encontrarse sin contacto con el suelo y cerrar su posición, hace uso del principio de conservación del momento angular y aumenta su velocidad de giro (Morris, 1973c; Maheras, 1992).

El llevar el miembro superior ejecutor (derecho) alejado del eje de giro provoca que exista una diferencia de momento de inercia entre los miembros inferiores y los superiores a favor de estos últimos. Consecuentemente, las caderas rotan bruscamente desde la derecha a la izquierda forzando a los hombros a rotar en dirección opuesta por el principio de acción – reacción aplicado sin contacto con el suelo; por consiguiente se aumenta la torsión entre los ejes de caderas y de hombros (Morris, 1973c; Maheras, 1992).

Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997) en sus estudios (tabla 2.1) evaluaron la aproximación de los muslos durante ésta y la siguiente fase, tanto para categoría masculina como para femenina. Para ello se valieron del cálculo de la distancia horizontal media entre el centro de masas de cada uno de los miembros inferiores y el eje longitudinal del sistema durante el transcurso de las Fases 3 y 4 (el eje longitudinal del sistema pasa a través del centro de masas del sistema, y apunta desde la parte inferior del sistema a la parte superior; de forma que si el sistema se inclina, el eje longitudinal se inclina con él). Durante este período una distancia menor entre los miembros inferiores al eje se consideró mejor acción técnica. Esta acción de aproximación al eje permite un rápido apoyo del pie izquierdo, y del mismo modo, ayuda al atleta a adquirir una posición en la cual la parte inferior del cuerpo

esté notablemente rotada por delante de la parte superior del cuerpo y del disco. Los resultados de ambos estudios se presentan en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Recobro de los miembros inferiores y del miembro superior libre.

Categoría		$r_{RL-3:4}$		$r_{LL-3:4}$		$r_{LAVG-3:4}$		H_{LA-3} ($s^{-1} \cdot 10^{-3}$)	r_{LA-3}	
		m	%	M	%	m	%		m	%
♂ (Dapena y Anderst, 1997)	x	0.200	10.5	0.165	8.6	0.183	9.5	35	0.468	24.5
	SD	0.013	0.8	0.015	0.8	0.013	0.7	9	0.045	2.3
♀ (Dapena y cols. 1997)	x	0.182	10.3	0.160	9.0	0.171	9.6	31	0.422	23.7
	SD	0.022	1.4	0.012	0.8	0.015	1.1	7	0.047	2.5

$r_{RL-3:4}$: Promedio del radio del miembro inferior derecho durante las Fases 3 y 4. $r_{LL-3:4}$: Promedio del radio del miembro inferior izquierdo durante las Fases 3 y 4. $r_{LAVG-3:4}$: Media de los dos anteriores valores. H_{LA-3} : Promedio normalizado del momento angular del miembro superior libre durante la Fase 3. r_{LA-3} : Promedio del radio del miembro superior libre durante la Fase 3. Todos los valores se refieren al eje longitudinal del sistema; los radios están expresados en metros (m), y también como un porcentaje de la estatura (%).

Después del despegue del pie izquierdo al terminar la Fase 2, la extremidad superior libre (izquierda) no puede contribuir a la generación de cualquier momento angular adicional para el sistema lanzador + disco, debido a que los pies no están en contacto con el suelo. El papel de la extremidad superior libre (izquierda) en esta fase no aparece claro en la bibliografía consultada. Algunos autores defienden la postura de que debe permanecer alejada del cuerpo de igual forma que en las anteriores fases (Hommel, 1994; Silvester, 2003), mientras que otros postulan que debería frenar su movimiento y/o disminuir su radio (Morris, 1981; Hay, 1993; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997).

Si el miembro superior libre (izquierdo) permanece alejado del cuerpo el momento de inercia de la parte superior del tronco será mayor al de la parte inferior. Consecuentemente, su velocidad de rotación será menor, esto facilita que las caderas se adelanten a los hombros aumentando la torsión entre ambos.

Si el miembro superior libre (izquierdo) frena su movimiento y se aproxima al tronco produce dos beneficios (Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997):

- Transferirá parte de su propio momento angular al resto del sistema, en concreto a los miembros inferiores, donde es más necesario, a través del uso de la musculatura de la parte media del tronco. El aumento de la velocidad de rotación de los miembros inferiores ayuda a apoyar el pie izquierdo con mayor rapidez.
- Ocasionará que el miembro superior libre (izquierdo) caiga por detrás del resto del sistema, lo cual a su vez hará posible un segundo balanceo del miembro superior libre (izquierdo) en el momento en que el doble apoyo se haya reestablecido.

No está completamente claro cuál de estas dos acciones debería ser más eficaz durante la Fase 3, pero autores como Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997) postulan que un descenso de la velocidad del miembro superior libre (izquierdo) durante este período puede dar una ventaja más sustanciosa. Dicho descenso aparte de contribuir a la aceleración de los miembros inferiores, permitiría aumentar el rango de movimiento del miembro superior en las siguientes fases.

Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997) en sus estudios (tabla 2.1) evaluaron la acción el recobro del miembro superior libre (izquierdo) en esta fase. Para ello utilizaron el valor medio del momento angular del miembro superior libre (izquierdo) relativo al eje longitudinal del sistema lanzador + disco durante la Fase 3. Un valor menor de este parámetro se consideró mejor acción técnica. Los resultados de ambos estudios se muestran en la tabla 2.2. Si el valor del momento angular del miembro superior libre (izquierdo) de un lanzador se hallaba claramente por encima de la media de valores del grupo, podría ser debido a una o ambas de estas dos razones: a que el miembro superior libre (izquierdo) hubiese rotado demasiado deprisa, o a que el radio del miembro superior libre (izquierdo) fuese demasiado grande. Para ayudar a distinguir entre estas dos posibilidades los autores introdujeron el cálculo de la media del radio horizontal entre el centro de masas del miembro superior libre (izquierdo) y el eje longitudinal del sistema lanzador + disco. Los resultados de esta variable en ambos estudios se exponen en la tabla 2.2.

Si la generación de torsión entre el eje de caderas y el eje de hombros durante esta fase se considera necesaria para lograr una buena ejecución técnica, los resultados de estudios científicos con lanzadores de elite (Susanka y cols. 1988; Dapena y

Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997) no sugiere que esto ocurra siempre en todos los atletas, pero sí indican que la máxima rotación se obtiene a lo largo de la siguiente fase 4.

Durante la *Fase de Vuelo* el miembro superior ejecutor continua extendido y por detrás del hombro del mismo lado. En esta fase el disco viaja en la misma dirección del lanzamiento y muestra una trayectoria con una ligera inclinación ascendente desde una posición relativamente baja (lograda en la fase anterior) hacia una posición más alta que ocurrirá en el instante, o justo después, del apoyo del pie derecho (Silvester, 2003). Es importante que el disco alcance cierta altura en este punto pero no está claro cual debe ser ésta, ya que la altura obtenida es dependiente del estilo de cada atleta.

Cuando el atleta se encuentra en el aire, el sistema lanzador + disco no puede ser acelerado ya que no hay contacto con el suelo; no obstante el lanzador sí podría continuar acelerando el disco aunque esto no sería deseable porque reduciría la torsión del tronco (Bartlett, 1992; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997).

Sin embargo, Schlüter y Nixdorf (1984) y Hay y Yu (1995a) obtuvieron en sus estudios datos cuantitativos que hacen replantearse esta cuestión. Schlüter y Nixdorf (1984) en su estudio con lanzadores masculinos encontraron una correlación significativa positiva entre el cambio en la velocidad del disco durante la *Fase de Vuelo* y la velocidad de liberación ($r = 0.85$). Mientras que Hay y Yu (1995a) en su estudio con lanzadores de élite en competición encontraron en categoría femenina que existía una correlación positiva entre un mayor cambio de velocidad del disco durante la *Fase de Vuelo* y una mayor distancia oficial ($r = 0.76$). Pero esta correlación no se repetía en categoría masculina. Las posibles explicaciones que dan los autores a esta correlación son, que sea debido:

- A los errores de medida de los cambios de velocidad del disco durante la *Fase de Vuelo* provocados por la digitalización manual. El valor medio del error absoluto para cada intento expresado como un porcentaje de la mejor estimación disponible del valor verdadero para ese intento fue 48.9%. Mientras que el valor máximo del error absoluto para cualquier intento expresado como porcentaje de la mejor estimación disponible del valor verdadero para ese intento fue de 117.7%.

- A las diferencias en el momento angular generado en las fases anteriores al vuelo. A mayor momento angular previo, mayor incremento en la velocidad angular del sistema en la *Fase de Vuelo* y mayor incremento en la velocidad del disco. Y por otro lado, a mayor momento angular en el instante de batida hacia el vuelo, mayor distancia oficial lanzada.
- A las diferencias de homogeneidad entre la categoría masculina y femenina. Los lanzadores masculinos lanzaron entre 67.14m y 53.20m, y las lanzadoras femeninas lanzaron entre 68.08m y 43.10m. Posteriormente, los autores homogeneizaron las dos muestras eliminando aquellas lanzadoras que no superaban los 53.20m. Consecuentemente, obtuvieron rangos para las dos muestras aproximadamente iguales y la correlación para las femeninas fue no significativa ($r = 0.31$).
- La existencia de un mayor número de complejas interacciones que las indicadas en su estudio.

Algunos autores sugieren que si la *Fase de Vuelo* es considerada una fase de transición hacia los apoyos, entonces la duración de la *Fase de Vuelo* debería ser minimizada (Stepanek, 1986; Bartlett, 1992; Tidow, 1994). El intentar reducir la *Fase de Vuelo* es un postulado ampliamente aceptado en la literatura dirigida a técnicos deportivos (Buhantsov y Papanov, 1988; Bartonietz y cols. 1996; Knowles, 1997). Incluso hay atletas que eliminan completamente la fase aérea al apoyar el pie libre (derecho) antes de que el pie de apoyo (izquierdo) pierda el contacto con el suelo (Knicker, 1994a, 1994b). Susanka y cols. (1988) (tabla 2.1) en su estudio indican que una marcada reducción de la duración de esta fase hace posible, por un lado, una acción activa sobre el disco, pero por otro lado, hace más difícil alcanzar una torsión suficiente de los miembros inferiores con relación al disco.

Sin embargo, estudios científicos que hacen referencia a la duración de la *Fase de Vuelo* no encuentran una relación clara entre la necesidad de acortar la duración de esta fase y una buena ejecución técnica del lanzamiento de disco. Schlüter y Nixdorf (1984) no encontraron una correlación significativa entre la duración de esta fase y la velocidad de liberación del disco. Lindsay (1991) (citado por Bartlett, 1992) en su análisis obtuvo que las mejores lanzadoras tenían fases de vuelo cortas pero los mejores lanzadores tenían una duración de la *Fase de Vuelo* de entre media a larga

duración. Los resultados obtenidos en la duración de la *Fase de Vuelo* están limitados a la frecuencia de muestreo utilizada. Susanka y cols. (1988) recomiendan que la frecuencia de muestreo mínima para estimar la duración de las fases debe de ser de 200Hz, aunque añaden que la precisión de las medidas mejora considerablemente si aumentados la frecuencia de muestreo a 400Hz – 500Hz. Knicker (1994a, 1994b) en su estudio (tabla 2.1) tampoco encontró ninguna correlación entre la duración de la *Fase de Vuelo* y la distancia oficial, ni con ninguno de los parámetros de liberación del disco (velocidad, ángulo y altura). De nuevo son necesarias investigaciones que estudien con profundidad y mayor precisión la *Fase de Vuelo* para esclarecer las dudas sobre la importancia en la duración de esta fase.

También existe en la bibliografía consultada referencias a la altura que debe alcanzar el lanzador durante el vuelo. Los técnicos deportivos (Knowles, 1997; Silvester, 2003) en sus artículos dan una mayor eficacia a un salto sutil más que un salto elevado pero no aportan ningún dato cuantitativo. Por el contrario, Yu y cols. (2002) en su estudio cinemático – cinético (tabla 2.1) advierte que los resultados de su investigación no indican que el lanzador tuviera que saltar tan bajo como sea posible, sino que debería generar una cierta cantidad de impulso vertical durante la fase anterior para lograr una óptima altura de vuelo. Esta recomendación se basa en los resultados obtenidos en su estudio que correlaciona significativamente una mayor cantidad de impulso mecánico vertical del pie izquierdo durante la Fase 2 con una mayor distancia oficial alcanzada.

2.4.3.8 FASE DE SEGUNDO APOYO SIMPLE

El objetivo principal de la Fase 4 es lograr la máxima torsión del lanzador (Bush y Weiskopf, 1980; Kenneson, 1985; Stepanek y Susanka, 1987; Burke, 1988; Tidow, 1994; Bartonietz y cols. 1997).

Al finalizar la *Fase de Vuelo*, el atleta apoya el pie derecho con el metatarso mientras el talón permanece elevado. Apoyar con el metatarso del pie minimiza la reducción de velocidad angular debido a la menor fricción con el suelo (Irving, 1980; Schwartz, 1983; Maheras, 1992; Knowles, 1997; Probst, 2000). El centro de gravedad del sistema lanzador + disco recae directamente o ligeramente por detrás del apoyo. El contacto del pie se produce cerca del centro del círculo de lanzamiento

(Morris, 1981; Amundsen, 1987; Hay, 1993; Probst, 2000). Situar el centro de masas del sistema lanzador + disco sobre el pie de apoyo (derecho) ayuda a mantener el momento angular; una desviación del centro de masas fuera del pie de apoyo (derecho) puede provocar un apoyo prematuro del pie libre (izquierdo) instantes después (Soudek, 1984; Amundsen, 1987; Probst, 2000).

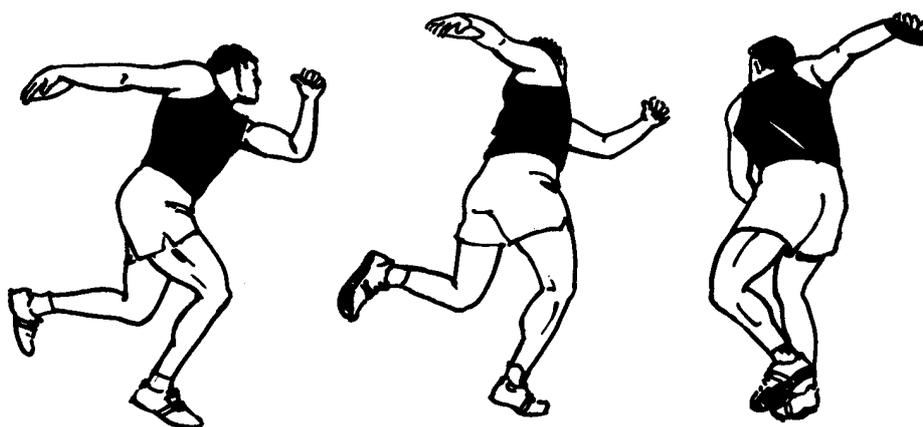


Figura 2.29. Secuencia de la *Fase de Segundo Apoyo Simple* (Silvester, 2003)

En la literatura destinada a técnicos deportivos son muchas las referencias sobre la necesidad de entrenar el juego de pies durante el lanzamiento como prerrequisito para garantizar el logro de buenas distancias de lanzamiento (Powell, 1975; Miller, 1976; Hay y Yu, 1996; Mirabelli, 1999). En esta misma literatura se propone como ideal el concepto denominado “7 invertido”, que consiste en imaginarse un 7 del revés dibujado dentro del círculo de lanzamiento y el atleta deberá apoyar sus pies sobre los vértices de este (figura 2.30) (Silvester, 1988; Mirabelli, 1999).

Hay y Yu (1996) en su estudio estudiaron dónde apoyaban los pies los lanzadores de élite durante la competición, tanto en categoría masculina como en femenina (tabla 2.1). Los resultados del estudio indicaron que los hombres apoyan el pie derecho 21cm a la izquierda de la línea de dirección de lanzamiento con un rango de valores de entre 61cm a -1cm. Mientras que las mujeres apoyaban con una desviación lateral hacia la izquierda de 6cm con un rango de valores de entre 39cm a -27cm. Estos datos, comparados con las distancias alcanzadas en cada lanzamiento indicaron que la distancia de lanzamiento no estuvo particularmente

sensible al lugar donde apoyaron el pie derecho en el círculo después de la fase aérea.

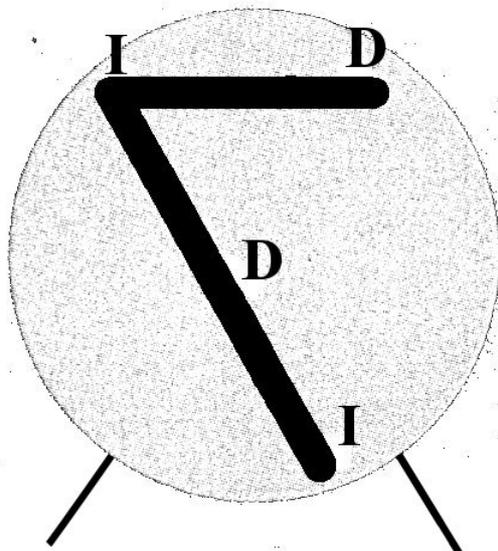


Figura 2.30. Posiciones de los pies en “7 invertido”. D: pie derecho, I: pie izquierdo (Adaptado de Mirabelli, 1999)

En la bibliografía consultada se aconseja realizar un “apoyo activo” en esta fase para lograr el éxito en el lanzamiento (Woicik, 1983; Arbeit y cols. 1987; Probst, 2000). Hofmann (1990) realizó uno de los pocos estudios con plataformas de fuerzas que existe en la bibliografía consultada. Su trabajo consistió en mostrar las diferencias en las fuerzas de reacción entre una técnica modelo basada en principios biomecánicos y una técnica considerada por el autor como deficiente. Entre las diferencias encontradas en el estudio se incluían las diferencias de actividad del pie derecho durante la última fase, en la técnica modelo la fuerza vertical del pie derecho registraba una magnitud menor que en la técnica deficiente (figura 2.31). El autor concluyó que para mejorar la técnica y realizar un apoyo del pie derecho correcto se recomendaba que el ángulo de salida hacia la *Fase de Vuelo* fuera raso. Por el contrario, Yu y cols. (2002) en su estudio de la cinética del lanzamiento de disco (tabla 2.1) observaron que la actividad del apoyo del pie derecho parece tener efectos significativos sobre el rendimiento final del lanzamiento. Una gran fuerza de impacto sobre el pie derecho en el apoyo después de la *Fase de Vuelo* está asociada con un incremento de los impulsos de reacción hacia delante y hacia la derecha y todos ellos a su vez están asociados con la distancia oficial. Esta relación

indicaba que a mayor magnitud de fuerza de impacto sobre el pie derecho en el apoyo después de la *Fase de Vuelo*, mayores eran los impulsos hacia delante y hacia la derecha durante las Fases 4 y 5, y mayor era la distancia de lanzamiento. Consecuentemente, para lograr el éxito en el lanzamiento fue necesario un fuerte apoyo del pie derecho después de la *Fase de Vuelo*. Los resultados de ambos estudios parecen arrojar datos contradictorios por lo que son necesarios más estudios sobre la forma de contactar el pie derecho en la Fase 4.

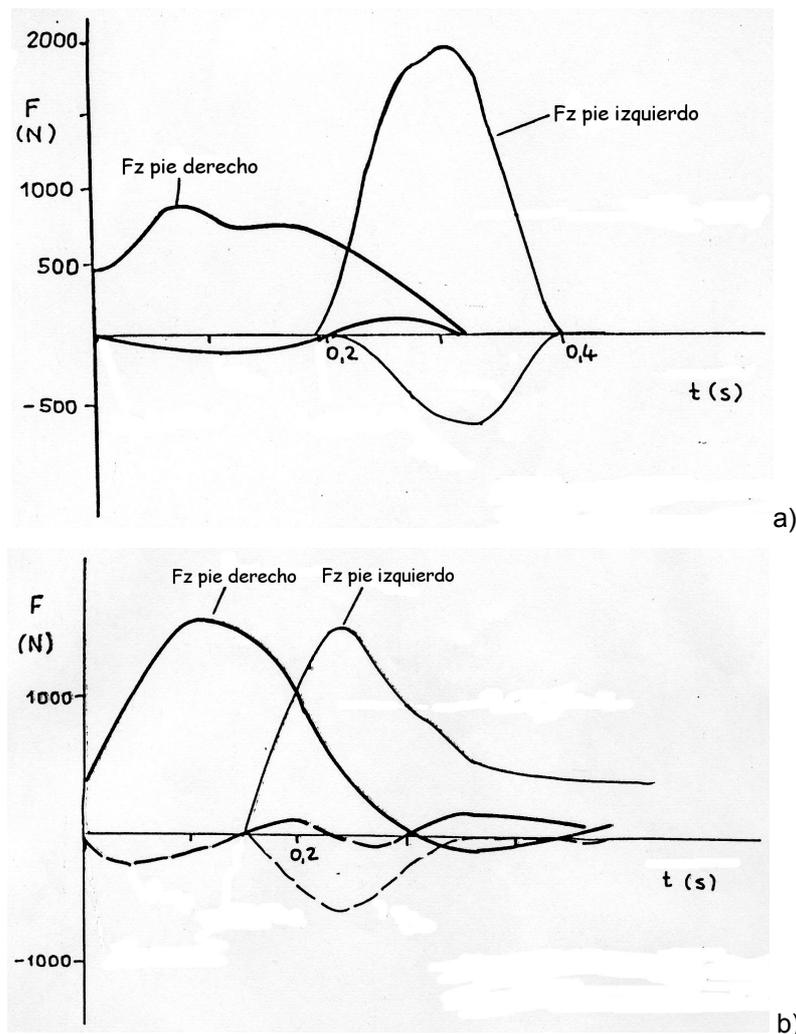


Figura 2.31. Fuerzas de reacción en el lanzamiento de disco. a) modelo propuesto por Hofmann (1990) en base a los principios biomecánicos. b) registro de un lanzamiento ejecutado con varios errores técnicos (Adaptado de Hofmann, 1990).

Una vez apoyado el pie, la acción principal de la extremidad inferior será rotar hacia la dirección de lanzamiento y extender la rodilla (Knowles, 1997; Yu y cols. 2002). Así lo demuestran los resultados del estudio de Yu y cols. (2002) (tabla 2.1) en el

que el pico del momento de fuerza de extensión y el momento de rotación interna de la cadera del miembro inferior de apoyo (derecho) están significativamente correlacionados con la distancia oficial y con el impulso horizontal hacia delante.

Está aceptado en la bibliografía consultada que la Fase 4 debería ser empleada para establecer un adelantamiento del eje de caderas sobre el eje de hombros, y el eje de hombros por delante del disco (Maheras, 1992; Knowles, 1999; Probst, 2000; Silvester, 2003). Esta torsión previa a la *Fase Final* de liberación parece crear una posición ventajosa que permite la utilización eficaz de la fuerza rotacional del tronco para acelerar el disco en su trayectoria a lo largo de la siguiente fase (Grigalka, 1979; Knicker, 1999; Daniel y cols. 2000; Probst, 2000). Knicker (1999) y Bartlett (2000a, 2000b) indican lo siguiente acerca de la torsión previa:

- Predispone al cuerpo en una posición ventajosa para la realización de la última acción.
- Maximiza la trayectoria de movimiento del disco, proporcionando un óptimo recorrido de aceleración.
- Da ocasión a que los miembros inferiores inicien la secuencia de acción hacia el lanzamiento.
- Elonga los músculos agonistas para que se desarrolle la máxima tensión, permitiendo almacenar energía elástica en los elementos elásticos en serie y paralelos de los músculos agonistas.

Estas ventajas significan un incremento de las fuerzas aplicadas al disco que consecuentemente aumentarán su velocidad de liberación.

Es en esta fase donde se alcanza la máxima de torsión del lanzador, que ocurre normalmente instantes antes al apoyo del pie izquierdo (Silvester, 2003), aunque algunos autores (Susanka y cols. 1988; Hommel, 1994) recomiendan que se logre justo en el instante de contacto del pie izquierdo. Aunque dichos autores apuntan esta recomendación no aporta datos cuantitativos que la justifiquen, por lo que son necesarias nuevas investigaciones en este sentido.

En la bibliografía consultada existen diferentes variables utilizadas para definir la cantidad de torsión que logra el lanzador. Las más utilizadas y nombradas son (Susanka y cols. 1988; Knicker, 1990; Mendoza y Schöllhorn, 1990; Lindsay, 1991 citado por Bartlett, 1992; Knicker, 1992; Hay, 1993; Tidow, 1994; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997; Silvester, 2003):

- El ángulo formado por el eje de caderas y el eje de hombros.
- El ángulo formado por el eje de hombros y la línea del miembro superior ejecutor.

Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997) (tabla 2.1) definieron nuevas variables para dar mayor concreción al modo de alcanzar la torsión. Aparte de las expuestas anteriormente calcularon:

- El ángulo entre el eje de caderas y la línea de pies (56° SD 13 categoría masculina; 47° SD 15 categoría femenina).
- El ángulo entre el eje de hombros y la línea de pies (111° SD 17 categoría masculina; 112° SD 17 categoría femenina).
- El ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y la línea de pies (144° SD 17 categoría masculina; 141° SD 13 categoría femenina).
- El ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de caderas (95° SD 15 categoría masculina; 103° SD 15 categoría femenina).

De todos estos ángulos calculados, Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997) consideran al ángulo que forman la línea del miembro superior ejecutor y la línea de pies como el más interesante de valorar, denominándolo "*Ángulo de Torsión Total del Sistema*", ya que es la suma de los ángulos de caderas relativo a pies, hombros relativos a caderas y miembro superior ejecutor relativo a hombros. Aumentar este valor al máximo se considera indicador de una buena ejecución técnica. Si el valor de este ángulo fuese pequeño, los autores recomiendan observar los valores de los ángulos restantes para distinguir cual de ellos es el principal responsable del valor bajo de torsión del sistema.

La corta duración de la *Fase de Segundo Apoyo Simple* unido a la proximidad entre los instantes donde se logra la máxima torsión y el apoyo del pie libre (izquierdo), provoca en algunos lanzadores que el valor máximo de torsión se consiga después del apoyo del pie libre (izquierdo), en la siguiente fase. Knicker (1992) en su estudio con lanzadores de élite (tabla 2.1) observó esta característica en un sujeto. El autor discute este hecho advirtiendo que una adecuada torsión del eje de hombros respecto al de caderas es un prerequisite para el inicio de la rápida aceleración final del disco. Por lo que un retraso en el instante de máxima torsión tiene su influencia sobre la curva de velocidad del disco retrasando el inicio de su aceleración hasta que esta torsión se haya conseguido.

Como se indicó anteriormente parece no estar totalmente claro en qué instante de esta fase debe alcanzarse la máxima torsión. Sin embargo, sí parece estar claro la secuencia de ángulos máximos alcanzados por los lanzadores de disco a lo largo de las dos últimas fases. Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997) en su estudio (tabla 2.1) calcularon los instantes en los que se obtenían los valores máximos de los ángulos descritos anteriormente, tanto para categoría masculina como para femenina. En la mayoría de los lanzadores masculinos la máxima torsión de las caderas con relación a los pies se lograba en primera instancia, seguida de una máxima torsión de los hombros con relación a las caderas. En prácticamente todos los lanzadores masculinos la máxima torsión de los hombros con relación a las caderas fue seguida por una máxima torsión de la extremidad superior ejecutora con el eje de hombros; ésta última se lograba ya en la siguiente fase. En las lanzadoras femeninas se produjo la misma secuencia con una ligera diferencia; sobre la media, la máxima torsión de las caderas relativas a los pies y la máxima torsión de los hombros relativos a las caderas se lograron en el mismo instante; en la mitad de las lanzadoras, la máxima torsión de las caderas relativas a los pies se alcanzaba ligeramente antes al igual que en categoría masculina; en la otra mitad la máxima torsión de los hombros relativos a las caderas se alcanzó ligeramente después. Aunque los autores describieron esta diferencia no dan ninguna explicación de su posible causa.

Un patrón de movimiento como el anteriormente descrito, en el cual los segmentos o cadenas cinemáticas de los miembros inferiores del sistema comienzan su acción antes que las cadenas superiores, es muy común en las habilidades de lanzamiento

(Dyson, 1978; Kreighbaum y Barthels, 1999; Bartlett, 2000a). Las razones de su eficacia no están completamente claras en la actualidad, pero Alexander (1991) en su estudio propone una interesante teoría: en el transcurso de un lanzamiento, las mayores demandas son solicitadas desde los músculos de las extremidades inferiores del sistema más que desde los músculos de las extremidades superiores del sistema. Los músculos de las extremidades inferiores del sistema no solamente son necesarios para acelerar los miembros inferiores, sino también para sostener la aceleración de los miembros superiores, mientras que los músculos de las extremidades superiores son únicamente requeridos para acelerar los miembros superiores. A pesar de que los músculos de los miembros inferiores son más potentes que los músculos de los miembros superiores, la mayor exigencia requerida a los primeros hace que estos se muevan más lentamente en el transcurso del movimiento. En consecuencia, los músculos de los miembros inferiores necesitan empezar sus acciones antes que los de los miembros superiores con el objetivo de finalizar su acción al mismo tiempo. Si los músculos de los miembros superiores son activados demasiado pronto, el disco será lanzado antes de que los músculos de las extremidades inferiores (y del tronco) hayan tenido una oportunidad de hacer una contribución completa al lanzamiento y esto acortaría la distancia de lanzamiento.

No está claro cuál es la mejor acción del miembro superior libre para contribuir a aumentar la torsión del atleta. Hay autores que defienden que una correcta acción del miembro superior libre sería la que lo mantuviese de forma pasiva cruzado delante del pecho para frenar la parte superior del cuerpo, mientras los miembros inferiores rotan activamente; esta postura posibilitaría una alta torsión del atleta (Wilt, 1983; Tidow, 1994; Knowles, 1997; Silvester, 2003). Estas publicaciones son descripciones técnicas del gesto pero no incluyen datos cuantitativos al respecto.

Por el contrario, Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997) defienden que una vez que se apoya del pie derecho se inicia una segunda acción de “propulsión” del miembro superior libre similar a la realizada en las Fases 1 y 2. El atleta lanza su miembro superior libre (izquierdo) en el mismo sentido que el giro, de forma rápida, alejado del cuerpo y en el mayor rango de movimiento posible. La justificación que dan los autores a esta acción del miembro superior libre (izquierdo) es que facilita la generación de momento angular del sistema lanzador + disco. La acción ayudaría al

pie de apoyo (derecho) a ejercer sobre el suelo las fuerzas necesarias para la generación de momento angular. Durante esta parte del lanzamiento, el atleta generalmente está ligeramente inclinado hacia la parte trasera del círculo. De esta manera el momento angular generado sería una combinación de momento angular respecto al eje vertical y al horizontal. De igual modo que en las Fases 1 y 2 los investigadores utilizan la integral del momento angular del miembro superior libre (izquierdo) para evaluar su acción durante las Fases 4 y 5 conjuntamente. A este parámetro lo denominan “*Segunda Acción Brazo Libre*” (“*Second Left Arm Action*”). El valor medio obtenido en el estudio para categoría masculina fue de $17.5\text{Kg}\cdot\text{m}^2\cdot 10^{-3}/\text{Kg}\cdot\text{m}^2$ SD 3.3 (Dapena y Anderst, 1997). El mismo valor medio para categoría femenina fue de $15.2\text{Kg}\cdot\text{m}^2\cdot 10^{-3}/\text{Kg}\cdot\text{m}^2$ SD 3.5 (Dapena y cols. 1997). Los autores defienden que a mayor valor, mejor acción técnica del miembro superior libre (izquierdo) porque mantiene más alejado el disco del eje de rotación.

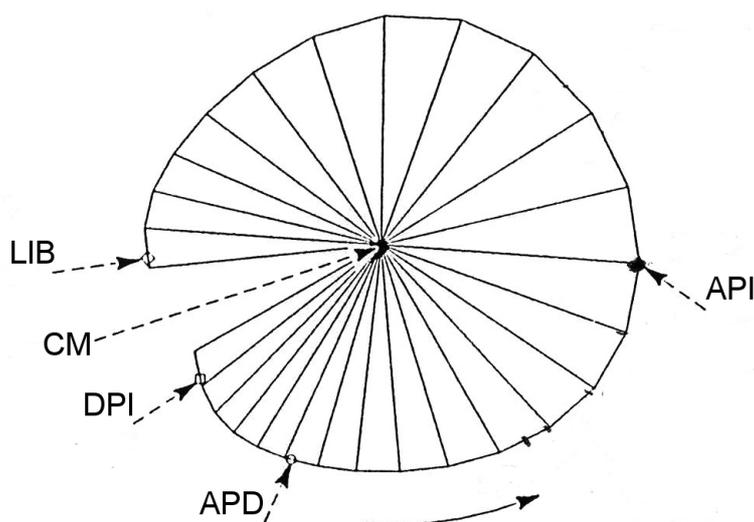


Figura 2.32. Acción del miembro superior libre durante las Fase 3, 4 y 5. Se han señalado en el gráfico los instantes de despegue pie izquierdo (DPI), apoyo pie derecho (APD), apoyo pie izquierdo (API), liberación del disco (LIB) y centro de masas del sistema lanzador + disco (CM) (Dapena y Anderst, 1997).

Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997) muestran un gráfico descriptivo de la acción realizada por el miembro superior libre (figura 2.32). En su investigación, las posiciones sucesivas del centro de masas del miembro superior libre con respecto al centro de masas del sistema están unidas por las bases de los triángulos que forman. En la figura 2.26 se puede ver cómo después del apoyo del pie derecho las bases de los triángulos van aumentando progresivamente, lo que indica que el

centro de masas del miembro superior libre gana una considerable velocidad. Pero también se puede observar que las aéreas de los triángulos más grandes corresponden a los instantes comprendidos entre el apoyo del pie izquierdo y el momento en el que se produce la máxima torsión total del atleta.

De nuevo son necesarias más investigaciones que aclaren la influencia de la acción del miembro superior libre sobre el grado de torsión máxima que debe lograr el lanzador en esta fase. No se conoce con exactitud si la acción más recomendable es un balanceo enérgico el miembro superior libre nada más contactar el pie derecho con el suelo, o una acción en la que inicialmente permanezca el miembro superior libre pasivo hasta el instante en que el lanzador sienta la máxima torsión en su tronco, y a esta sensación le seguiría una segunda acción donde se aumente con vigorosidad la velocidad de rotación en el sentido de la rotación del lanzador. La momentánea posición diagonal del miembro superior libre cruzado frente al cuerpo puede ser un estímulo adicional para la rotación explosiva que se producirá posteriormente, sincronizada con la búsqueda rápida del contacto del pie izquierdo (Tidow, 1994).

La mayoría de autores opinan que la duración de la Fase 4 debería ser reducida, por lo que los técnicos deportivos defienden la idea de un apoyo del pie izquierdo rápido (Morris, 1973c; Stepanek, 1986; Paulsen, 1987; Stepanek y Susanka, 1987; Jones, 1991; Bartlett, 1992; Maheras, 1992); sin embargo no se han producido datos cuantitativos que fundamenten esa opinión. Wilkins (1987b) argumentó por el contrario que intentar apoyar el pie izquierdo demasiado pronto puede reducir la base de sustentación para los movimientos finales de lanzamiento indicando que es necesaria una base de sustentación amplia. Dicho autor tampoco aporta datos cuantitativos a su propuesta.

El atleta a la vez que realiza un balanceo del miembro superior libre, lleva su pie izquierdo hacia la frontal del círculo tan rápido como le es posible, pero lo más cercano al borde frontal, ligeramente a la izquierda y paralelo a la dirección de lanzamiento obteniendo una base de sustentación estable que le permita mantener el equilibrio en las acciones finales del lanzamiento (Morris, 1981; Hay, 1993; Ecker, 1996). El balanceo rápido y activo del miembro inferior izquierdo en la dirección del giro favorece un rápido apoyo y un incremento de la torsión del atleta (Tidow, 1994;

Knowles, 1997; Cappos, 2000). Para incrementar la velocidad de rotación del miembro inferior izquierdo con relación a la parte superior del cuerpo, el atleta deberá mantener el primero cercano al eje longitudinal de giro al igual que en la *Fase de Vuelo* anterior (Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997; Cappos, 2000; Silvester, 2003). Un balanceo abierto del miembro inferior izquierdo durante esta fase retrasaría el apoyo del pie izquierdo y disminuiría la velocidad de rotación (Bartonietz y cols. 1996).

En la *Fase de Primer Apoyo Simple* el sistema lanzador + disco adquirió velocidad horizontal por medio del empuje desde el pie izquierdo. Una mayor velocidad horizontal del sistema lanzador + disco cuando alcanza la frontal del círculo contribuye a aumentar la velocidad de liberación del disco (Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997). Las leyes de la mecánica dictan que la velocidad y la dirección del movimiento permanecen constantes mientras el atleta está en el aire. Pero una vez que el atleta contacta con el suelo puede perder velocidad. Para que la pérdida de velocidad sea la menor posible es importante que el miembro inferior derecho, inmediatamente después del contacto con el suelo, ejecute un movimiento de pivote sobre su metatarso del pie con objeto de minimizar esa reducción de velocidad (Morris, 1981; Tidow, 1994). Esta acción consiste en un giro hacia dentro de la rodilla derecha, acompañado por una acción de pivote sobre el metatarso del pie y un giro hacia fuera del talón (Hay, 1993). Si el talón contacta con el suelo en cualquier instante durante esta acción, provocará que la parte inferior del cuerpo frene su rotación y, consecuentemente, la parte superior adelantará a la inferior, reduciendo cualquier posible uso efectivo de los miembros inferiores (Morris, 1981).

Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997) en sus estudios (tabla 2.1) calcularon las pérdidas de velocidad horizontal del sistema lanzador + disco durante la *Fase de Segundo Apoyo Simple* en categoría masculina y femenina respectivamente. Los valores obtenidos fueron -0.4m/s SD 0.2 para los hombres y de -0.4m/s SD 0.4 para las mujeres.

El miembro superior ejecutor (derecho) continua extendido induciendo al disco a describir una trayectoria inclinada ascendente llegando a una altura proxima al nivel de la cabeza siendo el punto más alto de toda la trayectoria del disco a lo largo del gesto técnico (Silvester, 2003). Susanka y cols. (1988) en su estudio (tabla 2.1)

encontraron que la máxima altura alcanzada por el disco correspondía a 1.42m SD 0.17 en categoría masculina y a 1.29m SD 0.17 en categoría femenina. Del mismo modo, Silvester y McCoy (1995) estudiaron la trayectoria del disco en dos grupos diferentes: lanzadores de categoría júnior y lanzadores de categoría absoluta, ambos grupos de hombres (tabla 2.1). Los resultados indicaron que durante la *Fase de Segundo Apoyo Simple* los atletas absolutos ascendían el disco a una altura correspondiente al 80.4% de su estatura, mientras que los atletas de categoría júnior lo ascendían al 75.5%.

Para esta fase existen datos controvertidos dado que aunque sería posible iniciar la aceleración final del disco y por consiguiente aumentar su velocidad, algunas opiniones de técnicos deportivos (Schwartz, 1983) defienden la idea de no acelerar el disco hasta el instante de doble apoyo final. Resultados de estudios científicos (Bartlett, 1992) demuestran que acelerar el disco en esta fase no sería adecuado para aumentar la distancia de lanzamiento. Schlüter y Nixdorf (1984) encontraron una alta correlación negativa ($r = -0.93$) entre el incremento en la velocidad del disco durante esta fase y su velocidad final de liberación. Esta relación fue atribuida por los autores a que un gran incremento de la velocidad del disco durante esta fase indicaría un fallo en el mantenimiento de la torsión entre las caderas y los hombros y éstos sobre el disco. La correlación negativa encontrada en el mismo estudio entre la velocidad del disco y ambas velocidades de cadera ($r = -0.92$) y hombros ($r = -0.83$) al finalizar la *Fase de Segundo Apoyo Simple* corrobora esta idea. Estos resultados son apoyados por Schöllhorn (1989) (citado por Bartlett, 1992) quien encontró que los lanzadores de categorías inferiores tenían un gran incremento de la velocidad del disco en esta fase con respecto a los de categoría superior.

Sin embargo, Hay y Yu (1995a) en su estudio con lanzadores de élite en situación de competición (tabla 2.1) donde midieron el incremento de velocidad del disco a lo largo de cada una de las fases, no encontraron ninguna correlación entre la velocidad del disco generada en *Fase de Segundo Apoyo Simple* y la velocidad final de liberación, ni tampoco con la distancia final alcanzada, tanto en categoría masculina como en femenina.

Una opinión opuesta la proponen Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997) indicando que prácticamente todos los lanzadores comienzan la propulsión final del

disco claramente en esta fase antes del apoyo del pie izquierdo. Y advierten que si el lanzador sigue las instrucciones literales de los técnicos deportivos que creen que la principal propulsión del disco no debería comenzar hasta que el pie izquierdo es apoyado en el suelo, podrían inducir a un acortamiento de la trayectoria de aceleración final del disco y, consecuentemente, un descenso en la distancia de lanzamiento. La diferencia radical entre las propuestas descritas anteriormente y la propuesta del grupo de investigación de Dapena se basa en el método de cálculo de la velocidad del disco. Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997) calcularon los cambios en la velocidad del disco relativos al centro de masas del sistema y no a los cambios relativos al sistema de referencia global (figura 2.33). En el sistema de referencia global los incrementos en la velocidad del disco son debidos al hecho de que el disco está en el lado derecho y por consiguiente la velocidad del centro de masas del sistema tiene la misma dirección y contribuye a incrementar la velocidad del disco. Los descensos en la velocidad del disco son debidos a que éste está en el lado izquierdo y por consiguiente la velocidad del centro de masas del sistema contribuye a descender la velocidad del disco respecto al sistema de referencia global.

El inicio de la aceleración final del disco en esta fase se sustenta por los datos obtenidos por los mismos autores (Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997). Los resultados indican un inicio, en la *Fase de Segundo Apoyo Simple*, de la transferencia del momento angular horizontal desde el lanzador al disco acompañado de un descenso en el momento angular horizontal del lanzador. Por lo que un incremento del valor porcentual del momento angular del disco en esta fase indicaría que la aceleración del disco ha comenzado. Los autores (Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997) en sus respectivos estudios (tabla 2.1) utilizaron el valor del porcentaje del momento angular horizontal del disco en el instante de apoyo del pie izquierdo respecto al momento angular horizontal del sistema en la liberación para valorar si la aceleración del disco había comenzado. Los valores de esa variable en ambos estudios, tanto en categoría masculina como en femenina, se muestran en la tabla 2.3.

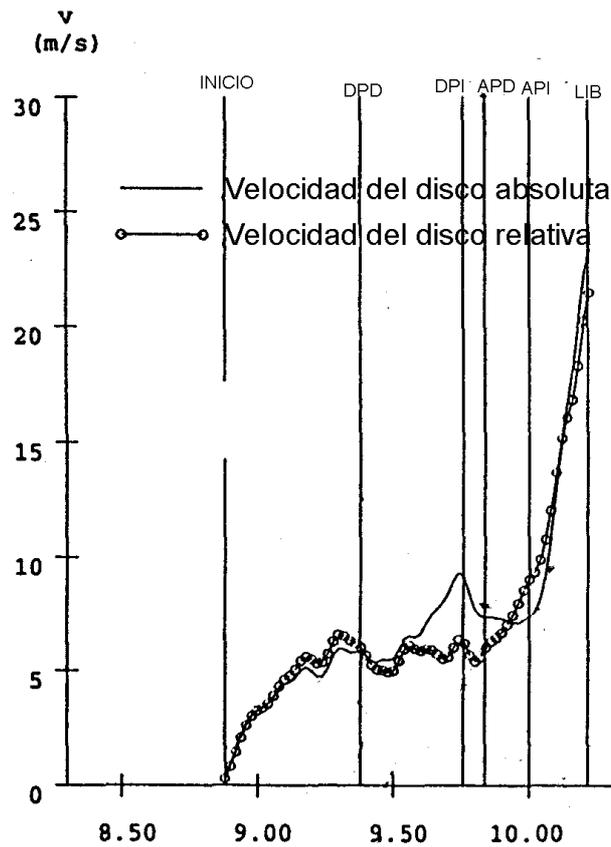


Figura 2.33. Gráfica comparativa entre el cálculo de la velocidad del disco absoluta y relativa. Se han señalado en la gráfica los instantes de inicio del movimiento (INICIO), despegue pie derecho (DPD), despegue pie izquierdo (DPI), apoyo pie derecho (APD), apoyo pie izquierdo (API) y liberación del disco (LIB) (Adaptado de Hay y Anderst, 1997).

Tabla 2.3. Momento angular horizontal del sistema, del lanzador y del disco al finalizar cada fase

		Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5
♂ (Dapena y Anderst, 1997)	Sist	78 SD 10	90 SD 10	90 SD 10	91 SD 8	100 SD 0
	Lanz	71 SD 9	83 SD 10	82 SD 10	79 SD 8	65 SD 3
	Disco	7 SD 2	7 SD 1	8 SD 1	12 SD 2	35 SD 3
♀ (Dapena y cols. 1997)	Sist	75 SD 10	89 SD 9	89 SD 9	88 SD 7	100 SD 0
	Lanz	69 SD 9	83 SD 3	83 SD 8	78 SD 7	71 SD 2
	Disco	6 SD 2	6 SD 1	6 SD 1	10 SD 2	29 SD 2

Los valores están calculados como porcentaje del momento angular horizontal del sistema en la liberación (%). Sist: Sistema; Lanz: Lanzador.

A medida que se transfiere momento angular del lanzador al disco, éste aumenta su velocidad pero el lanzador frena su rotación. Cuando el lanzador disminuye su velocidad de rotación, hace que sea más difícil mantener la transferencia de momento angular horizontal hacia el disco. Un camino para reducir la pérdida de rotación es obtener momento angular respecto al eje vertical en sentido antihorario adicional desde el suelo; esto es lo que los lanzadores intentan hacer en la siguiente fase cuando ambos pies se hallan en contacto con el suelo (tabla 2.3) (Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997).

2.4.3.9 FASE DE SEGUNDO APOYO DOBLE

El propósito fundamental de esta fase es transferir los momentos lineales y angulares desde el lanzador hacia el disco (Morris, 1973c; Vrabel, 1987; Burke, 1988; Dapena, 1993; 1994b; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997).

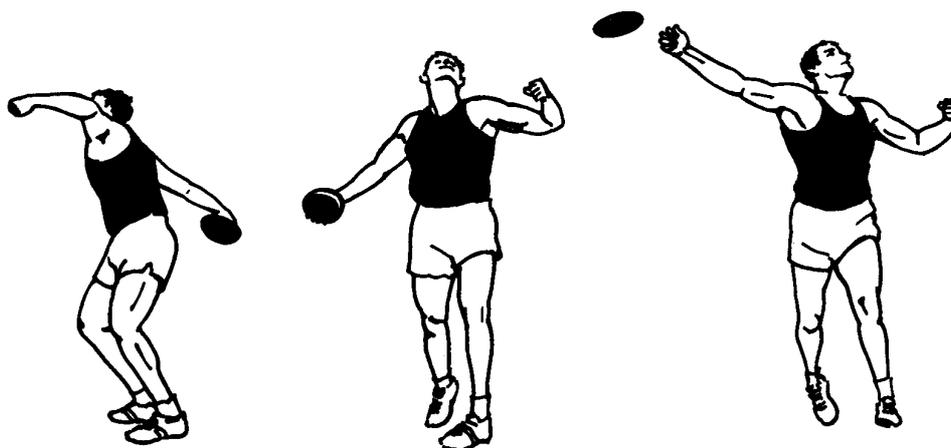


Figura 2.34. Secuencia de la *Fase de Segundo Apoyo Doble* (Silvester, 2003)

La posición de inicio de la *Fase de Segundo Apoyo Doble* se denomina en numerosas citas bibliográficas como "*Posición de Potencia*" ("*Power Position*") (Morris, 1981; Burke, 1988; Kemp, 1988; Shannon, 1988; Maheras, 1992; Hommel, 1994; Tidow, 1994; Jones, 1995; Judge, 1996). Su importancia se fundamenta en que únicamente en esa posición (ambos pies están en apoyo) es cuando puede comenzar la aceleración final del disco de forma eficaz (Jones, 1995).

En la bibliografía consultada se cita esta fase como la más importante e influyente en el éxito final del lanzamiento (Vigars, 1979; Vrabel, 1987), por lo que es necesario llevar a cabo un movimiento explosivo que aumente la velocidad del disco al final como requisito para lograr el éxito en el lanzamiento (Hay, 1993; Hay y Yu, 1995a; Vrabel, 1994; Silvester, 2003). Así lo recogen los estudios científicos que indican que la aceleración final es la responsable de entre el 62% y el 73% de la velocidad de liberación del disco (Bartlett, 1992). Hay y Yu (1995a) en su estudio con lanzadores de elite en situación de competición (tabla 2.1) encontraron que la mayor parte de la velocidad de liberación del disco (68% en el caso de los hombres y 66% en el caso de las mujeres) se generaba durante la *Fase de Segundo Apoyo Doble*, y que existía una correlación entre el incremento de velocidad alcanzada en la Fase 5 y la distancia oficial. Tal correlación indica que los cambios en la velocidad del disco durante la Fase 5 son los más influyentes en la consecución de las distancias de lanzamiento. En la misma línea, se hallan los resultados de Schlüter y Nixdorf (1984), quienes obtuvieron una correlación ($r = 0.96$) entre la diferencia de velocidad del disco en la Fase 5 y la distancia oficial para una muestra de ocho lanzadores masculinos. Estos resultados argumentan la necesidad de lograr un gran cambio en la velocidad del disco durante la *Fase de Segundo Apoyo Doble*.

No obstante, Knicker (1999) apoya la idea de que la principal aceleración ocurre durante la Fase 5, alrededor de un 60%. Pero advierte que un lanzador puede lograr un buen lanzamiento si las fases preliminares el disco alcanza una cierta velocidad y durante la Fase 4 la aumenta considerablemente; consecuentemente, la aceleración del disco en el tramo final no necesariamente debería ser tan elevada.

La Fase 5 comienza con el apoyo del pie izquierdo en la frontal del círculo de lanzamiento. Este apoyo debe proporcionar al lanzador una postura estable y algo abierta para aplicar la mayor fuerza al disco (Vigars, 1979; Morris, 1981; Amundsen, 1987; Maheras, 1992). El pie izquierdo debe contactar cerca de la línea frontal del círculo de lanzamiento y a una corta distancia lateral izquierda de la línea de dirección del lanzamiento (Bush y Weiskopf, 1980; Jones, 1995; Hay y Yu, 1996). Apoyar el pie izquierdo justo enfrente del pie derecho o a su derecha se considera un error técnico, puesto que limita el movimiento posterior de la cadera derecha (Morris, 1973a; Mulloy, 1988; Bartonietz y cols. 1996; Xie, 2000).

Gregor y cols. (1985) midieron la distancia de separación entre los pies al inicio de esta fase. La muestra del estudio la componían los tres mejores clasificados en los Juegos Olímpicos de 1984 con sus tres mejores lanzamientos, tanto en categoría masculina como en femenina (tabla 2.1). El valor medio de la distancia de separación entre los pies encontrado en los intentos analizados fue de 0.80m SD 0.04 en categoría masculina y de 0.85m SD 0.11 en categoría femenina. En el artículo los autores mostraron únicamente los datos sin entrar en su discusión. Con esos mismos datos, en un estudio posterior, Bartlett (1990) no encontró ninguna correlación estadística entre la distancia de separación de los pies y la velocidad de liberación del disco. Lindsay (1991) (citado por Bartlett, 1992) utilizó una evaluación cualitativa para analizar la posición de los pies al inicio de la Fase 5, concluyendo que existía una amplia variabilidad.

Lindsay (1991) (citado por Bartlett, 1992) midió el grado de abertura de los pies respecto a la dirección de lanzamiento en la posición final, es decir, el ángulo entre la trayectoria de salida del disco y la línea que une los pies en el instante de liberación del disco, obteniendo resultados que variaron entre 10° a 38° para los lanzadores masculinos y de entre 12° y 27° para las lanzadoras femeninas.

Hay y Yu (1996) en su estudio analizaron la posición de los pies a lo largo del lanzamiento (tabla 2.1), concluyendo que el correcto apoyo del pie izquierdo, según los criterios expuestos en párrafos anteriores, no es ni un prerrequisito ni una garantía para el éxito en el lanzamiento de disco. Aunque, según los autores, los mejores lanzamientos fueron realizados con posiciones de apoyo del pie izquierdo en la frontal del círculo de lanzamiento que se acercaban a las generalmente recomendadas en la literatura para técnicos deportivos. El valor medio de la desviación lateral hacia la izquierda registrada en este estudio fue de 31cm (con un rango de entre 71cm a 0cm) en categoría masculina y de 25cm (con un rango de entre 87cm a -15cm) en categoría femenina. Como ya apuntamos en el apartado correspondiente a la *Fase de Primer Apoyo Doble*, en este mismo estudio se concluyó que el desplazamiento del centro de masas del sistema lanzador + disco hacia el apoyo izquierdo en la Fase 1 se correlaciona con la posición del pie izquierdo en la *Fase de Segundo Apoyo Doble*.

La posición de los pies en la *Fase de Segundo Apoyo Doble* puede determinar el valor de la distancia perdida (distancia horizontal que recorre el disco en vuelo que no está acreditada en la medida de la distancia oficial). Hay y Yu (1995a) en su estudio (tabla 2.1) calcularon el valor de la distancia perdida en una muestra de lanzadores (0.39m SD 0.21) y lanzadoras (0.42m SD 0.22). Los autores hallaron que la diferencia más importante entre el sujeto que tenía un valor más elevado en la distancia perdida y el de menor valor fue el uso que hacían cada uno de ellos del círculo de lanzamiento. El lanzador con una distancia perdida menor hacía un uso completo del círculo de lanzamiento apoyando su pie derecho cerca del centro y su pie izquierdo cerca del límite frontal; mientras el sujeto con una mayor distancia perdida utilizó parcialmente el espacio apoyando el pie izquierdo lejos del límite frontal del círculo de lanzamiento (figura 2.35).

Una vez que ambos pies están apoyados en el suelo las fuerzas ejercidas contra éste tendrán una influencia significativa en el éxito del lanzamiento (Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997; Yu y cols. 2002). El objetivo principal de esta Fase 5, como se indicó anteriormente, es transferir al disco los momentos lineales y angulares generados en fases anteriores. Pero se vio en la fase anterior, es en aquella donde se inicia la transferencia de momento angular horizontal del lanzador al disco. En la Fase 4 cuando es transferido el momento angular al disco, hay una tendencia a frenar la rotación del lanzador. A medida que el lanzador va frenando su rotación, la transferencia de momento angular comienza a ser más difícil, y solamente obteniendo un momento angular adicional desde el suelo se puede compensar la pérdida de momento angular (Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997).

Dapena y sus colaboradores (Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997) en sus estudios postulan, sin medir las fuerzas de reacción del suelo, que el lanzador para generar un momento angular adicional empuja con el pie izquierdo contra el suelo hacia delante y quizás un poco hacia la derecha, mientras que con el pie derecho ejerce sobre el suelo una pequeña fuerza dirigida hacia atrás y hacia la izquierda con respecto al círculo de lanzamiento (figura 2.36). Las fuerzas de reacción excéntricas producidas incrementarán el momento angular horizontal del sistema en la Fase 5.

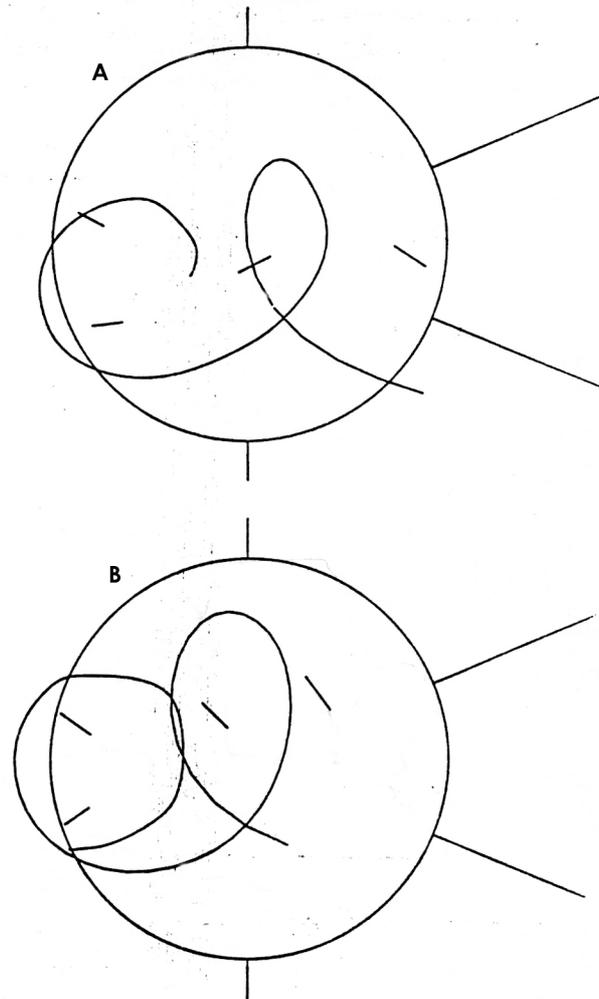


Figura 2.35. Trayectoria seguida por el centro de gravedad del disco y localización de los pies al inicio del movimiento y en el apoyo del pie izquierdo en los sujetos con un valor mínimo (A) y un valor máximo (B) en la distancia perdida (Adaptado de Hay y Yu, 1995a).

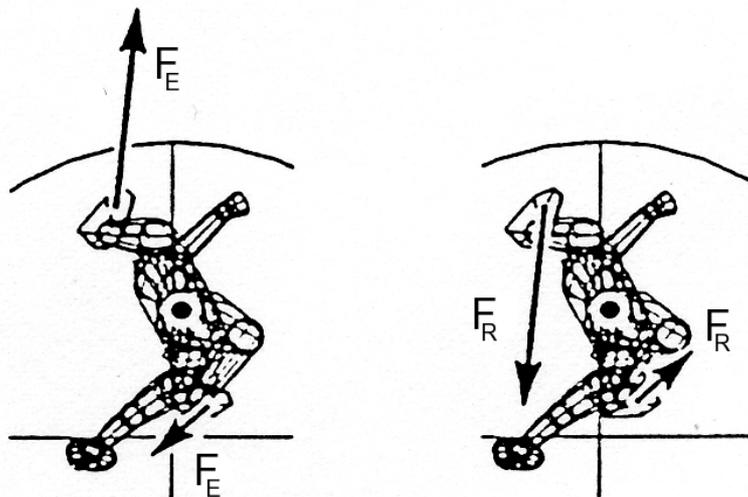


Figura 2.36. Instante de apoyo del pie izquierdo. Se han señalado en el dibujo las fuerzas ejercidas contra el suelo (F_E) y las fuerzas de reacción (F_R) (Adaptado de Dapena y Anderst, 1997).

Las especulaciones anteriores están en consonancia con los resultados de sus estudios (Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997) (tabla 2.1), en las que encontraron que el porcentaje medio de ganancia de momento angular horizontal en la Fase 5 con respecto al total alcanzado al finalizar el lanzamiento era de alrededor del 10%, tanto para categoría masculina como para la femenina (tabla 2.3).

Yu y cols. (2002) en su estudio (tabla 2.1) midieron las fuerzas de reacción provocadas por los apoyos a lo largo del lanzamiento en situación de entrenamiento con lanzadores de elite. En esta investigación se evaluó la relación existente entre las fuerzas de reacción y la distancia oficial alcanzada (tabla 2.1). Los resultados indicaron que existía una correlación significativa entre las fuerzas de reacción hacia atrás sobre el apoyo izquierdo y su respectivo impulso en la Fase 5, con la distancia oficial. Tal correlación sugiere que el papel principal del miembro inferior izquierdo durante la Fase 5 es empujar hacia delante para provocar una fuerza de reacción hacia atrás. En cuanto al miembro inferior derecho, el mismo estudio indicó que existía una correlación significativa entre el impulso hacia delante y hacia la derecha durante las Fases 4 y 5 con la distancia oficial. Consecuentemente, el papel principal del miembro inferior derecho durante esta fase es proporcionar un impulso hacia delante y hacia la derecha al sistema lanzador + disco. La fuerza de reacción hacia atrás sobre el pie izquierdo junto con la fuerza de reacción hacia delante sobre el pie derecho, ambas excéntricas, proporcionarían un momento fuerza suficiente para acelerar la rotación del sistema lanzador + disco sobre el eje vertical hacia la dirección de lanzamiento (Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997; Yu y cols. 2002).

Las fuerzas ejercidas por los pies contra el suelo, de igual modo que ayudan a generar momento angular horizontal generan momento angular vertical, aunque el modo no está claro. Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997) en sus estudios demuestran que la generación de momento angular vertical se genera principalmente durante la segunda mitad de la Fase 4 y la primera mitad de la Fase 5. Los mismos autores especulan sobre las causas del incremento del momento angular vertical en esta fase. Posiblemente el lanzador para generar momento angular vertical continúe empujando diagonalmente con el miembro inferior derecho contra el suelo hacia abajo y algo más hacia la izquierda que en la fase anterior (figura 2.36). Mientras que con el miembro inferior izquierdo realice un empuje

vertical sin apenas desviación lateral. Las fuerzas de reacción ejercidas por el empuje del pie derecho posiblemente pasen por el lado derecho del centro de masas del sistema lanzador + disco y tiendan a incrementar el momento angular vertical, mientras que las fuerzas de reacción del empuje del pie izquierdo pasen a la izquierda del centro de masas del sistema lanzador + disco y tiendan a descender el momento angular vertical (figura 2.37). En conjunto, la acción del miembro inferior derecho es dominante y el resultado es una ganancia neta de momento angular vertical (Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997). Pero estas, son sólo especulaciones, ya que en los citados estudios no se calcularon las fuerzas de reacción del suelo.

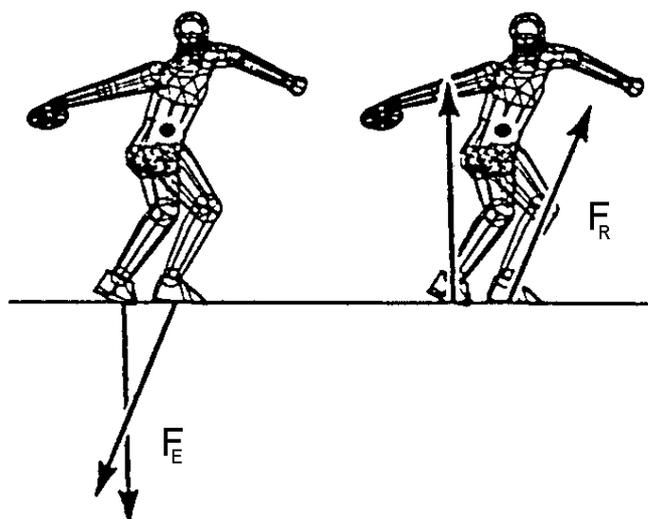


Figura 2.37. Instante de apoyo del pie izquierdo. Se han señalado en el dibujo las fuerzas ejercidas contra el suelo (F_E) y las fuerzas de reacción (F_R) (Adaptado de Dapena y Anderst, 1997).

Yu y cols. (2002), en su estudio hallaron una correlación significativa entre la fuerza de reacción vertical y el impulso del pie izquierdo con la distancia oficial. Por lo que los autores recomiendan a los lanzadores que realicen un potente empuje vertical con el pie izquierdo para aumentar la distancia oficial. Los autores no encontraron ninguna relación entre la fuerza reacción vertical del pie derecho y la distancia oficial; no obstante, sería necesario buscar relaciones directas entre las fuerzas de los apoyos y el momento angular vertical para poder aclarar este aspecto.

Cuando el pie izquierdo contacta con el suelo, ambas rodillas deberían estar flexionadas y el centro de masas del sistema lanzador + disco sobre el pie derecho.

En esa situación el lanzador extenderá tobillo, rodilla y cadera del lado derecho y rotará hacia el interior respecto a su eje longitudinal lo que provocará que las caderas del lanzador se dirijan hacia delante y giren en la dirección de lanzamiento utilizando como eje fijo de giro el miembro inferior izquierdo. De forma coordinada el miembro inferior izquierdo realizará una potente extensión de su rodilla. Al mismo tiempo el centro de masas del sistema lanzador + disco se trasladará desde el apoyo derecho al izquierdo en la dirección de lanzamiento (Vigars, 1979; Morris, 1981; Johnson, 1981; Maheras, 1992; Hay, 1993; Ecker, 1996; Knowles, 1997; Yu y cols. 2002).

Bartonietz y cols. (1996) consideran un grave error técnico una excesiva flexión de la rodilla izquierda durante la Fase 5. La rodilla izquierda opina que debe estar completamente extendida en el instante de liberación como consecuencia de una vigorosa acción de extensión del miembro inferior izquierdo (Morris, 1973b).

Yu y cols. (2002) estudiaron la relación de los movimientos de los miembros inferiores con la distancia de lanzamiento. Encontraron que existía una correlación significativa entre los momentos de extensión y rotación interna de la cadera derecha durante esta fase con el impulso hacia delante y hacia la derecha de las fuerzas de reacción sobre el pie derecho y con la distancia oficial. La relación encontrada sugiere que una fuerte extensión de la rodilla derecha y rotación interna de la cadera derecha durante la Fase 5 incrementará la fuerza de reacción hacia delante y hacia la derecha, y del mismo modo la distancia oficial. En cuanto a las acciones del miembro inferior izquierdo, los autores encontraron una correlación significativa entre la extensión de la rodilla izquierda con las fuerzas de reacción hacia atrás y verticales, y con la distancia oficial. Estas relaciones sugieren que una potente extensión de la rodilla izquierda incrementaría las fuerzas de reacción verticales hacia atrás durante la Fase 5 y del mismo modo la distancia de lanzamiento.

La acción conjunta de empuje del miembro inferior izquierdo hacia abajo y hacia delante con la extensión de rodillas provocará el frenado del movimiento horizontal del sistema lanzador + disco. Las fuerzas de reacción resultantes ayudarían a prevenir que el lanzador salga del círculo de lanzamiento, lo que invalidaría el

intento, a la vez que contribuirían a aumentar la velocidad vertical de salida del disco (Morris, 1973a, 1973b; Paulsen, 1987).

Un curioso estudio realizado por Ratov y cols. (1978) consistió en atar al lanzador con una goma elástica que tiraba de él hacia arriba para facilitar la rápida extensión de las extremidades inferiores en la última fase. Los autores vieron que en esta situación especial, el lanzador conseguía acelerar más el disco y aumentar la velocidad de liberación y consecuentemente lanzar más lejos.

Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997) proponen en su estudio (tabla 2.1) calcular la contribución de la velocidad vertical del centro de masas del sistema lanzador + disco a la velocidad del disco por medio de la media de la velocidad vertical del centro de masas del sistema durante el último cuarto de giro del disco. Los valores reportados por los autores en su estudio para esta variable fueron 1.4m/s SD 0.3 en categoría masculina (Dapena y Anderst, 1997) y 1.1m/s SD 0.3 en categoría femenina (Dapena y cols. 1997).

A pesar de la pérdida de velocidad horizontal del centro de masas del sistema lanzador + disco a favor de una ganancia en velocidad vertical, el centro de masas del sistema lanzador + disco posee cierto momento lineal horizontal que contribuirá a aumentar la velocidad horizontal de liberación del disco. Sin embargo, un posible problema existe en la contribución de velocidad horizontal y es que una dirección de movimiento demasiado oblicua con respecto a la dirección horizontal del disco después de su liberación, reduciría la contribución de la velocidad horizontal del sistema lanzador + disco a la velocidad horizontal de liberación del disco. Siempre y cuando un lanzador de disco se dirija a través del círculo de lanzamiento con un ángulo oblicuo moderado hacia la izquierda y no lance el disco demasiado hacia la derecha (así como una divergencia de 20° entre ambas direcciones) no habrá una pérdida significativa en la distancia de lanzamiento. Sin embargo, si la divergencia entre las direcciones alcanza valores mayores de este ángulo puede producirse una importante pérdida en la distancia de lanzamiento (Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997).

En los intentos analizados en los estudios de Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997) la contribución de la velocidad horizontal del sistema lanzador + disco a la velocidad horizontal del disco en la liberación fue 1.2m/s SD 0.2 (Dapena y

Anderst, 1997) en el caso de los hombres y 1.1m/s SD 0.3 en el caso de las mujeres (Dapena y cols. 1997).

En conjunción con el giro del miembro inferior derecho, el miembro superior libre continua (se inicia en fase anterior) realizando un movimiento de balanceo amplio hasta que la mano esta directamente en la dirección de lanzamiento (Morris, 1981)

Esta acción del miembro superior libre facilita la generación de momento angular porque ayuda a los pies a ejercer sobre el suelo las fuerzas necesarias para generar momento angular. Debido a la inclinación del lanzador hacia atrás, la acción propulsora del miembro superior libre ayuda a generar una combinación de momento angular horizontal y vertical (Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997).

Desde la posición de la mano del miembro superior libre en línea con la dirección de lanzamiento, dicho miembro superior libre realiza una segunda acción de recobro acercándose hacia el cuerpo reduciendo su rango de movimiento y reduciendo su velocidad de rotación. Esta acción básicamente ayuda a bloquear el movimiento del lado izquierdo del atleta y, consecuentemente, facilita la transferencia de momento angular hacia el lado derecho y en última instancia hacia el disco (Ecker, 1978; Buhantsov y Papanov, 1988; Barclay, 1993; Bartonietz y cols. 1996; Ecker, 1996; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997; Knowles, 1997; Silvester, 2003).

Para describir cómo el atleta recobra su miembro superior libre, Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997) usaron como variable la diferencia entre el momento angular máximo alcanzado por el miembro superior libre en las fases 4 y 5 y el momento angular del miembro superior libre en el instante de la liberación del disco. Los valores de esta variable obtenida en sus estudios fueron de $-39s^{-1} \cdot 10^{-3}$ SD 8 para categoría masculina (Dapena y Anderst, 1997) y de $-29s^{-1} \cdot 10^{-3}$ SD 9 para categoría femenina (Dapena y cols. 1997). Para una mejor transferencia de momento angular desde el miembro superior libre al resto del sistema, un mayor valor negativo es indicativo de una mejor técnica.

Cuando el lado izquierdo se encuentra totalmente bloqueado, el lado derecho deberá completar su giro alrededor del izquierdo hacia delante, llevando los ejes de

caderas y hombros paralelos en el instante de liberación del disco (Vigars, 1979; Knowles, 1997).

Para describir como el atleta rota hacia la dirección de lanzamiento durante los últimos instantes los autores proponen calcular el ángulo de torsión en el instante de la liberación del disco (Knicker, 1990; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997). Estos advierten que el ángulo de torsión relativo a los pies no puede ser un buen indicador de la rotación hacia la dirección de lanzamiento para aquellos atletas que realizan la liberación sin contacto de pies. En esos casos recomiendan, calcular el ángulo entre la extremidad superior ejecutora y las caderas. El atleta debería conseguir reducir este ángulo, lo que indicaría que ambos ejes se encuentran paralelos en el instante de liberación del disco.

Los resultados de los estudios de Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997) para las categorías masculina y femenina respectivamente vienen reflejadas en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Ángulos de torsión del sistema lanzador + disco en el instante de liberación

	$\theta_{\text{CAD}}_{\text{PIES}} (^{\circ})$	$\theta_{\text{HOMB}}_{\text{PIES}} (^{\circ})$	$\theta_{\text{BRAZO}}_{\text{PIES}} (^{\circ})$	$\theta_{\text{HOMB}}_{\text{CAD}} (^{\circ})$	$\theta_{\text{BRAZO}}_{\text{CAD}} (^{\circ})$	$\theta_{\text{BRAZO}}_{\text{HOMB}} (^{\circ})$
♂ (Dapena y Anderst, 1997)	77 SD 13	85 SD 7	90 SD 9	9 SD 10	13 SD 18	5 SD 10
♀ (Dapena y cols. 1997)	77 SD 15	82 SD 13	86 SD 15	6 SD 19	10 SD 23	4 SD 10

Finalmente el miembro superior ejecutor, que continua extendido, pasa rápida y vigorosamente hacia el exterior y adelante con el objetivo de alargar el recorrido del disco. Por lo tanto, la acción de la extremidad superior ejecutora debe centrarse en ampliar el rango de movimiento, alejando al máximo el disco del eje de giro. Un radio de giro corto disminuiría el tiempo disponible para transferir gran cantidad de energía hacia el disco mientras que un radio de giro largo alargaría la trayectoria de aceleración sobre la que aplicar la fuerza (Webb, 1985; Vrabel, 1987; Hay, 1993; Bartonietz y cols. 1996; Knowles, 1997, 1999).

El disco, en primera instancia, desciende alcanzado el punto más abajo de su trayectoria para luego ascender hasta el instante de liberación (Silvester, 2003). Una diferencia alta entre las posiciones facilita potencialmente el aumento de la velocidad del disco (Silvester y McCoy, 1995). Susanka y cols. (1988) en su estudio con los finalistas del Campeonato del Mundo de 1987 (tabla 2.1) observaron que los lanzadores masculinos descendían el disco a una altura de 0.87m SD 0.13, mientras que las lanzadoras lo hacían a 0.77m SD 0.11. Silvester y McCoy (1995) estudiaron la trayectoria del disco en dos grupos diferentes: lanzadores de categoría júnior y lanzadores de categoría absoluta, ambos grupos de hombres (tabla 2.1). Los resultados indicaron que durante la *Fase de Segundo Apoyo Simple* los atletas de categoría absoluta descendían el disco a una altura correspondiente al 41.6% de su estatura, mientras que los atletas de categoría junior lo descendían al 48.1%. La menor altura alcanzada por los lanzadores absolutos les puede permitir usar los músculos de los miembros inferiores más efectivamente en la aplicación de la fuerza cuando empujan ascendiendo hacia la posición de liberación del disco.

El miembro superior ejecutor continúa su acción hasta la liberación del disco. Los dedos de la mano aplican la fuerza final al disco y es el dedo índice el último en dejar el contacto con el disco (McEachran, 1988). Si estas fuerzas son aplicadas directamente a lo largo del plano que pasa a través del centro de masas del disco, el disco volará sin ningún tambaleo. Pero, si las fuerzas son aplicadas por encima o por debajo de dicho plano, el disco se tambaleará cuando vuele a través de las capas de aire (Bosen, 1985; Paulsen, 1987; Ecker, 1996). Con el objetivo de incrementar la estabilidad del disco durante su vuelo y así aumentar la distancia de lanzamiento (figura 2.38), el lanzador debería también concentrar su atención en dar al disco tantas vueltas como sean posibles sobre su eje perpendicular al plano del disco cuando éste sea lanzado desde el dedo índice (Soong, 1976; Frohlich, 1981; Paulsen, 1987; Stepanek, 1986; Stepanek y Susanka, 1987; Ecker, 1996). Una rotación elevada (7rps.) preserva la inclinación del disco durante todo el vuelo (Frohlich, 1981). Pero el incremento de la rotación del disco no debe hacerse a expensas de una disminución en la velocidad de liberación (Terauds, 1978).

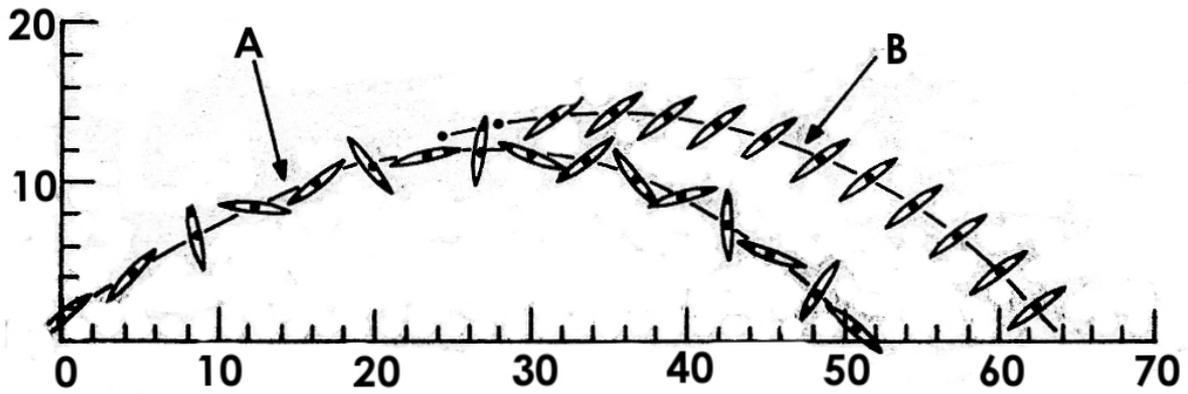


Figura 2.38. Trayectoria y orientaciones espaciales del disco en vuelo. A: Disco liberado con una velocidad angular sobre su eje vertical de 36.9rev/s. B: Disco liberado con una velocidad angular sobre su eje vertical nula (Adaptado de Soong, 1976).

Está generalmente aceptado que la altura de liberación del disco se debe situar cercana o por encima de la altura de los hombros (Barclay, 1993). Descensos en esa altura están relacionados con una posición baja de la extremidad superior debido principalmente a una inflexión lateral del tronco o a una reducida abducción de la extremidad superior (Gregor y cols. 1985; McCoy y cols. 1985; Bartlett, 1992; Knowles, 1997). Algunos autores relacionan la altura de liberación del disco con la elevación de las extremidades inferiores (Dunn, 1969; Powell, 1975).

Es frecuente encontrar análisis donde se describe que los lanzadores tanto femeninos como masculinos, en el instante de la liberación del disco, inclinan su eje de hombros hacia un lado o hacia el otro (Bartonietz y cols. 1996). El cambio del centro del eje de hombros hacia la izquierda, derecha, delante o atrás con relación al centro del eje de caderas afecta a la longitud de la trayectoria de aceleración del disco (Bartlett, 1992). Algunos autores (Gordien, 1973; Susanka y cols. 1988; Knowles, 1997) consideran que los valores deberían ser cercanos a cero en el instante de liberación, por lo que cualquier flexión antero-posterior o medio-lateral se considera como un error técnico.

Gregor y cols. (1985) en su estudio con los lanzadores de disco participantes en los Juegos Olímpicos de 1984 evaluó el parámetro ángulo de flexo-extensión del tronco en el instante de la liberación del disco. Los resultados del estudio reflejaron que mientras las tres mujeres analizadas tenían una posición con una moderada extensión (97.5° SD 2.9) los tres hombres presentaban mayor variabilidad (97.4° SD 6.5). De igual modo, los resultados indicaban que cuando el ángulo del tronco

estaba en extensión, el ángulo de liberación del disco incrementaba. Sin embargo, la relación no se observaba de forma clara.

McCoy y cols. (1985) en un estudio con numerosos intentos analizados, 46 en categoría masculina y 21 en femenina, evaluaron el ángulo del tronco respecto a la horizontal (tabla 2.1). Del análisis de los atletas masculinos destacaron dos diferentes técnicas de lanzamiento:

- La primera, consistente en una alineación vertical del tronco y una altura de liberación alta. Estos atletas lanzaban sin apoyos de pies.
- La segunda, se caracterizaba por una posición del cuerpo más reclinada y con una altura de liberación menor.

Dapena y Anderst (1997) en un sujeto de su estudio (tabla 2.1) observaron que la velocidad horizontal de liberación del disco fue una de las más mayores del estudio, a pesar de que ambas, el momento angular horizontal del disco y la contribución de la velocidad horizontal del sistema a la velocidad horizontal del disco, tuvieron valores muy cercanos a la media del estudio. Los autores pensaron que parte de la explicación de esta aparente discrepancia era debido a la inclinación del sujeto en la liberación del disco. El sujeto en el instante de liberación tenía el tronco con una ligera inflexión lateral hacia su izquierda. Este cambio del hombro derecho hacia la izquierda acerca el disco al centro de masas del sistema lanzador + disco. Para un momento angular horizontal del disco, una distancia más pequeña entre el centro de masas del sistema y la línea de dirección del disco, aumentaría la velocidad horizontal del disco. Los autores sugieren que el radio del disco con respecto al eje longitudinal del lanzador debería ser mantenido con la mayor longitud posible durante gran parte del lanzamiento, pero opinan, que en el instante inmediatamente anterior a la liberación, el radio debería acortarse. Los autores remarcan la importancia de que este acortamiento únicamente ocurra cerca de la liberación y no demasiado antes.

Sin embargo, Maronski (1991) estudió la distancia óptima entre el implemento y el eje de rotación en el instante de liberación del disco. Su trabajo consistió en diseñar un modelo matemático simple del lanzador con el disco en giro. Los resultados, acordes al modelo propuesto, determinaron que la técnica óptima de lanzamiento de

disco requiere una distancia constante y máxima del disco al eje de rotación durante todo el gesto y que un rápido acortamiento de esa distancia inmediatamente antes de la liberación es inútil. Ante tales opiniones contrapuestas de sendos autores cabe decir que son necesarias más investigaciones al respecto que aclaren si es o no es recomendable un acortamiento del radio de giro del disco justo antes de la liberación.

La utilización de la dirección de la cabeza es fundamental para el éxito del lanzamiento. La cabeza en esta última fase no debe ir por delante del lanzamiento sino que debe mantenerse en posición neutra (posición anatómica) (Tidow, 1994, 1995).

Con relación a los apoyos de los pies en el instante de liberación no existe en la bibliografía consultada un claro consenso (Bartlett, 1992; Tidow, 1994, 1995). En algunas investigaciones se analiza si los lanzadores liberan el disco en apoyo, si los pies se deslizan, con un solo apoyo o con ambos pies despegados del suelo. Algunos autores recomiendan que los lanzadores mantengan sus pies en contacto con el suelo durante la liberación para proporcionar un soporte firme (Woicik, 1983; Arbeit y cols. 1987). Sin embargo, la observación de los pies en los últimos instantes antes de la liberación del disco indican que (Tidow, 1994, 1995):

- Entre las lanzadoras existe una cierta preferencia a lanzar el disco en apoyo doble.
- Entre los lanzadores se observan todos los estilos posibles, pero con una ligera tendencia hacia el estilo de liberación en salto.
- Algunos atletas cambian su estilo en el curso de su carrera deportiva.

Es posible que aparte de la influencia que haya tenido el método de aprendizaje y el técnico deportivo, la elección de un estilo u otro dependa de las diferentes habilidades neuromusculares de cada individuo; así, aquellos atletas provistos de una musculatura oblicua fuerte en el pecho y el abdomen, pero de extremidades inferiores relativamente endebles, acostumbren a realizar el impulso final con sus dos pies en contacto con el suelo; aquellos otros, en cambio, cuyas extremidades inferiores posean una elevada cualidad de potencia – velocidad, suelen dar un salto en esta fase, abandonando el proyectil cuando ya sus dos pies han perdido el

contacto con el suelo (Instituto Científico Superior de Cultura Física de la URSS, 1970 citado por Dyson, 1978; Tidow, 1994, 1995).

Gregor y cols. (1985) (tabla 2.1) encontraron que en categoría masculina prácticamente todos los lanzamientos eran ejecutados sin apoyo (8 sin apoyo, 1 con apoyo con un solo pie). El valor medio del tiempo de despegue del pie derecho fue de 50ms antes de la liberación, mientras que el pie izquierdo despegaba 30ms antes de la liberación. Sin embargo, en el mismo estudio para categoría femenina se encontró una amplia variedad, cuatro despegaron el pie derecho y cinco lo deslizaron. En cuanto al pie izquierdo, este nunca abandonó el suelo o lo hizo en mismo instante de la liberación. Estas diferencias fueron atribuidas por los autores a un mayor empuje vertical desarrollado por los hombres, que provoca su elevación desde el suelo, mientras muchas mujeres paraban la acción de las caderas y de los miembros inferiores prematuramente quizás afectando a la transferencia de momento vertical.

McCoy y cols. (1985) en su estudio (tabla 2.1) encontró dos estilos diferentes para los lanzadores masculinos del estudio. Los estilos se diferenciaban en función del ángulo del tronco y de la liberación con o sin apoyo. El primer estilo incluía una posición del tronco cercana a la vertical con un lanzamiento sin apoyo anterior a la liberación. El segundo estilo incluía una posición más reclinada del tronco con un despegue de los pies en el mismo instante de la liberación. Aunque este estudio se realizó con un gran número de intentos solamente participaron cuatro atletas masculinos, y el modo estadístico de diferenciación de los estilos se describió en la publicación.

Hofmann (1990) realizó uno de los escasos estudios cinéticos con plataformas de fuerzas que aparecen en la literatura científica. Los registros cinéticos mostraron que las máximas fuerzas de ambos pies se generan antes de la liberación. A partir de estos registros y de los principios biomecánicos que los rigen propuso un modelo de ejecución correcto que involucraba al pie derecho a despegar del suelo 80ms antes de la liberación del disco y al pie izquierdo a despegar coincidiendo con la liberación.

Hay (1993) propone que el disco sea lanzado en apoyo o sin él dependerá del énfasis del impulso de las extremidades inferiores para aumentar la componente vertical de la velocidad de liberación del disco. Aquellos lanzadores que intentan

impartir velocidad vertical al disco acentuando sus esfuerzos en dirigir el disco hacia arriba por medio de una pisada firme del pie izquierdo generalmente lanzan el disco con el pie izquierdo y en ocasiones con el pie derecho en contacto. Si por el contrario, intentan aumentar la velocidad vertical enfatizando sus esfuerzos en extender ambas extremidades inferiores, usualmente tendrán ambos pies en el aire en el instante de la liberación.

Tidow (1994, 1995) propone de forma teórica y sin datos cuantitativos que una liberación sin apoyo de pies hace que el eje de rotación se traslade desde el lado izquierdo del lanzador hacia el centro de éste cuando se pierde el contacto con el suelo lo que provoca un acortamiento del radio de giro. Esta disminución incrementa la velocidad angular del disco y consecuentemente aumenta la velocidad con que el disco se libera de la mano del lanzador.

Bartonietz y cols. (1996) realizó un análisis cualitativo de los mejores lanzadores masculinos y femeninos participantes en el Campeonato del Mundo de Goteborg de 1995. Todas las lanzadoras finalistas realizaron una liberación con apoyo, mientras que los lanzadores masculinos mostraban generalmente una tendencia hacia la liberación sin apoyo de pies, pero dos de los medallistas usaron un estilo de liberación del disco con ambos pies en contacto con el suelo. Los autores dan una ventaja biomecánica eficaz a aquellos lanzadores que liberan el disco con apoyo de pies, ya que esta proporciona definitivamente mejores condiciones para el trabajo de los miembros inferiores, especialmente para el miembro inferior izquierdo que para resultados comparables necesitará menores demandas de potencia y, en consecuencia, menor estrés sobre las estructuras óseas, articulares y ligamentosas. Aunque estas suposiciones no están apoyadas con datos y relaciones estadísticas.

Ecker (1996) afirmó que puesto que el miembro superior ejecutor contribuye muy poco en la distancia de lanzamiento durante la *Fase Final* y puesto que aproximadamente todas las fuerzas contra el suelo han sido aplicadas antes de la liberación, parece que intentar mantener los pies en contacto con el suelo durante la liberación del disco disminuye la velocidad más que si se lanza con ambos pies sin apoyo.

2.4.3.10 RECOBRO

Una vez que ha sido lanzado el disco, el atleta realiza alguna forma de recobro con los objetivos de contrarrestar las fuerzas de reacción del suelo por el impulso vertical de las extremidades inferiores y de prevenir el fallo por salida del círculo (Woicik, 1983; Burke, 1988).

El lanzamiento ideal debería finalizar en un perfecto equilibrio, con una completa transferencia de toda la energía cinética hacia el disco y sin ningún movimiento rotacional del lanzador, ya que la abundancia de movimientos manifiesta que la energía cinética del lanzador no ha sido completamente transferida al disco (Vrabel, 1987). Pero el ideal se aleja de la realidad y la inmensa mayoría de lanzadores realizan algún tipo de recobro.



Figura 2.39. Secuencia del recobro (Silvester, 2003)

Básicamente hay dos tipos (Hay, 1993; Silvester, 2003):

- *Recobro ortodoxo*: Consiste en una flexión de las rodillas para descender el centro de masas. Por su naturalidad se considera el más sencillo de aprender y ejecutar.
- *Reverso hilado o Cambio de pies*: Una vez que el disco ha despegado el lanzador cambia la situación de los pies en el círculo de lanzamiento, pasando a recaer el peso del pie izquierdo al pie derecho y apoyando el pie izquierdo cerca del centro del círculo. Esta técnica comporta una o más rotaciones sobre el

metatarso del pie derecho con el objeto de disipar el momento angular sobrante del giro y del lanzamiento (Zody, 1976; Morris, 1981). Éste, resulta más complicado y efectivo para potentes lanzamientos y a su vez conlleva mayor riesgo si aparece algún error en la ejecución.

El número de hombres que lanza con cambio de pies es superior al de los que realizan el recobro ortodoxo, ocurriendo en las mujeres todo lo contrario (Vrabel, 1987).

Bosen (1981) indica que la utilización de una técnica u otra viene definida por las características físicas del lanzador. Un lanzador explosivo utilizará un recobro con reverso, mientras que un lanzador menos explosivo usará un recobro ortodoxo.

Bashian (1998) explica el posible efecto positivo al realizar el cambio de pies antes del fin del lanzamiento, basándose en la relación encontrada entre el cambio de pies en el lanzamiento y los ángulos de ataque negativos del disco, puesto que un ángulo de ataque negativo en el lanzamiento con aire en contra es crucial para conseguir mayor distancia (Frohlich, 1981). Concluye que la utilización de esta técnica al final del lanzamiento redundará en un beneficio siempre que sea ejecutada correctamente. La explicación de esa relación es que en la ejecución del cambio de pies el lanzador realiza un impulso vertical con el miembro inferior adelantado que le lleva a lanzar en despegue; este impulso genera una velocidad vertical que se aplicará al disco en el despegue y que, sin variar el ángulo de ataque del disco, contribuirá a que éste sea más negativo.

En los apartados anteriores se ha intentado dar las líneas generales del lanzamiento de disco, pero como ya se advirtió al inicio de este apartado cada lanzador posee su propio estilo. De entre dichos estilos personales existentes entre los lanzadores, se podrían englobar en tres estilos básicos (Morris, 1981; Bowerman, 1990):

- “*Estilo de Torsión*” o “*Torque Style*”. Este estilo se centra en adquirir una torsión máxima al inicio de la Fase 5. Para ello, el atleta al inicio del movimiento rota sobre su pie izquierdo 270° y cuando se dirige en vuelo hacia la frontal a través del círculo de lanzamiento, intenta rotar el tronco y las extremidades inferiores en contra de las agujas del reloj. Esto crea una acción opuesta en el miembro

superior que causa que éste rote en la dirección de las agujas del reloj creando una posición de torsión máxima.

- “*Estilo de Velocidad Lineal*” o “*Linear Speed Style*”. Este estilo se centra en realizar el movimiento a la máxima velocidad. Para ello el atleta mantiene todos los segmentos corporales cercanos al eje vertical para facilitar la rotación rápida sobre dicho eje.
- “*Estilo Lineal–Rotatorio*” o “*Style Lineal–Rotatory*”. En este estilo el atleta al inicio del movimiento mantiene los segmentos alejados del eje vertical como medida para crear un gran momento angular. Cuando el atleta inicia la traslación hacia la frontal cruzando el círculo de lanzamiento, añadirá el momento lineal correspondiente.

2.4.3.11 VUELO DEL DISCO

El vuelo de disco ha atraído en la bibliografía consultada un gran interés científico; en ella aparecen estudios que explican las fuerzas que actúan sobre el disco en el vuelo. Del mismo modo, existen numerosos estudios donde se busca determinar las condiciones óptimas de liberación con el objetivo último de maximizar la distancia de lanzamiento (Bartlett, 1992; Hay, 1993).

El comportamiento de un disco en vuelo y por lo tanto su trayectoria de vuelo, está controlado por la interacción de los parámetros de liberación, las características físicas del disco (momento de inercia, masa y forma...) y las condiciones de viento en la zona de lanzamiento (Neighbour, 1999a).

Para alcanzar la mayor distancia de vuelo, el atleta deberá lanzar el disco con una óptima combinación de velocidad, ángulo y altura de liberación para unas condiciones aerodinámicas dadas (Stepanek, 1986; Hay, 1993). Algunos autores (Hubbard, 1989; Linthorne, 2001) están de acuerdo en que estos parámetros no son independientes y sugieren que no es posible obtener la misma velocidad de liberación en un amplio rango de ángulos de liberación. Así mismo, la estructura del cuerpo humano puede favorecer la producción de fuerza en algunas direcciones más que en otras (Hubbard, 1989; Linthorne, 2001). De entre todos los parámetros,

la velocidad de liberación está fuertemente correlacionada con la distancia de lanzamiento, por lo que es indudablemente el factor más importante.

Los estudios científicos sobre la fase de vuelo soportan los siguientes postulados sobre las condiciones de liberación necesarias para maximizar la distancia de lanzamiento (Bartlett, 1992; Hay, 1993):

- La velocidad de liberación debería ser tan alta como fuera posible. Este es el parámetro más importante de liberación.
- La altura de liberación debería ser la máxima posible. Un incremento en la altura de liberación debería siempre dar como resultado una distancia de lanzamiento más lejana, pero ésta debe aumentar sin perjuicio sobre las otras condiciones óptimas de liberación.
- El disco debería ser lanzado maximizando su velocidad de giro sobre su eje vertical, pero con nulas velocidades angulares sobre el resto de ejes.

Debido a la importancia de la velocidad de liberación del disco, un gran porcentaje del entrenamiento estará enfocado a aumentar la magnitud de las fuerzas dirigidas al disco y la distancia sobre la cual esas fuerzas son ejercidas. Son muchos los estudios científicos que incluyen la medición de velocidad de liberación del disco en sus resultados (tabla 2.5).

Como se puede observar en la tabla 2.5 el rango de alturas de liberación reportado en la literatura científica es muy limitado debido posiblemente a que el lanzador solamente puede alterar la altura de liberación en fracciones de metro (Bartlett, 1992; Hay, 1993).

Si comparamos las alturas de liberación de los hombres con las mujeres encontramos diferencias. Hay y Yu (1995a) justifican estas diferencias por las desiguales estaturas entre los dos grupos y no a una diferencia técnica. Los autores compararon las alturas de liberación en función del porcentaje de estatura y no observaron diferencias entre ambos grupos.

Tabla 2.5. Muestra, distancia oficial, velocidad, altura y ángulo de liberación de los estudios más relevantes seleccionados de la bibliografía

Autores	n	Sexo	d_o (m)	$V_{DISCOlib}$ (m/s)	$h_{DISCOlib}$ (m)	$\Theta_{DISCOlib}$ (°)
Terauds, 1978	10	♂	61.57 SD 5.67	24.71 SD 1.46	1.67 SD 0.29	36.6 SD 2.1
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
	9	♀	63.50 SD 1.40	25.0 SD 0.7	1.48 SD 0.17	34.6 SD 1.6
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
	21	♀	56.65 SD 2.99	24.5 SD 0.9	1.51 SD 0.12	33.7 SD 2.8
Stepanek, 1986	2	♂	63.77 SD 4.48	24.45 SD 1.34	1.65 SD 0.01	35.5 SD 0.7
	2	♀	67.00 SD 2.25	24.7 SD 0.00	1.55 SD 0.03	37.5 SD 0.7
Susanka y cols. 1988	8	♂	65.96 SD 1.40		1.42 SD 0.17	
	10	♀	67.00 SD 2.25		1.29 SD 0.17	38.2 SD 2.3
Knicker, 1990	30	♂	63.23 SD 2.16	22.8 – 26.0		
Lindsay, 1991 (citado por Bartlett, 1992)	7	♂	51.93 SD 3.86	23.0 SD 1.8		36 SD 3
	4	♀	50.55 SD 3.38	23.2 SD 0.3		33.4 SD 3.2
Knicker, 1992	9	♂	63.76 SD 3.07	24.6 SD 0.7		34.9 SD 5.2
Knicker, 1994a, 1994b	8	♂	64.31 SD 2.44	25.6 SD 1.1	1.8 SD 0.2	36.2 SD 2.6
	8	♀	63.52 SD 2.57	23.7 SD 0.7	1.6 SD 0.1	36.6 SD 2.3
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
	15	♀	57.90 SD 7.51	23.22 SD 1.49	1.51 SD 0.17	36.3 SD 3.8
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
	17	♂	62.48 SD 2.68	24.23 SD 1.00	1.73 SD 0.14	37.2 SD 3.3
Dapena y Anderst, 1997	26	♂	58.44 SD 2.98	23.6 SD 0.6	1.71 SD 0.11	35 SD 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, 1999	47	♂	63.37 SD 2.43	24.1 SD 1.1		33.9 SD 3.5
Xie, 2000	2	♂	56.37 SD 3.4			

Los ángulos del disco en la liberación están definidos en función de la dirección del flujo del aire y en función del sistema de coordenadas absoluto fijado en la tierra (figura 2.40) (Bartlett, 1992; Hay, 1993):

- Ángulo de liberación (θ), definido como el ángulo entre el vector velocidad y la horizontal en el instante de liberación.
- Ángulo de inclinación (Φ), definido por el eje longitudinal del disco respecto a la horizontal en el instante de liberación.
- Ángulo de ataque (γ), definido por el ángulo entre el eje longitudinal del disco y la dirección relativa del viento.
- Ángulo de basculación ("roll"), definido por el ángulo entre el eje longitudinal del disco y el plano transversal del disco.

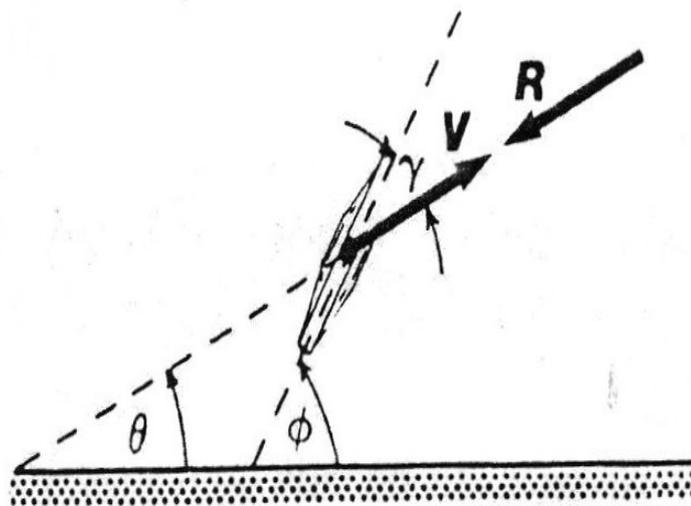


Figura 2.40. Ángulos estudiados en el instante de liberación del disco: ángulo de liberación (θ), ángulo de inclinación (Φ), ángulo de ataque (γ), vector velocidad del disco (V) y vector velocidad del viento (R). Adaptado de Hay (1993).

En la literatura científica aparecen estudios donde se mide e intenta determinar aquellos valores que favorezcan el aumento de la distancia de vuelo del disco.

El ángulo de liberación considerado óptimo en la teoría del lanzamiento de un proyectil es de 45° para cualquier velocidad de liberación del proyectil. Este ángulo es óptimo para un lanzamiento en el que los puntos de lanzamiento inicial y de caída se hallen a la misma altura. En el lanzamiento de disco, el implemento se libera

siempre en un punto que ésta elevado del suelo y aterriza contra el suelo proporcionando un desplazamiento vertical extra. Consecuentemente, una mayor diferencia entre las dos alturas permitirá que el disco pueda moverse hacia delante durante más tiempo. Esta diferencia de alturas tiene su repercusión en el ángulo de lanzamiento. Por esta razón el ángulo óptimo depende, en realidad, de la altura y de la velocidad del lanzamiento (Dyson, 1978; Kreighbaum y Barthels, 1999).

La relación entre los parámetros altura, velocidad y ángulo de liberación establece que cada combinación de altura y velocidad posee un único ángulo óptimo de liberación que alcanza la mayor distancia de lanzamiento posible. Tal relación establece que; en igualdad de velocidad de liberación, a mayor diferencia entre la altura de liberación y la de aterrizaje, menor debe ser el ángulo de liberación (Kreighbaum y Barthels, 1999). Además, cada lanzador tiene un único ángulo de liberación que da al objeto la mayor distancia de lanzamiento (Kreighbaum y Barthels, 1999, Linthorne, 2001).

Los estudios de optimización de los parámetros de liberación del disco indican que, en condiciones de viento calmado el disco debería ser lanzado con un ángulo de liberación de entre 35° – 37° para los hombres y algo menor, de entre 35° – 36° , para las mujeres debido a sus mejores condiciones aerodinámicas y menor masa (Soong, 1976; Frohlich, 1981; Bartlett, 1992; Sueyoshi y Maruyama, 1994). Los ángulos de liberación óptimos calculados de forma teórica se asemejan a los valores observados en lanzamientos reales (tabla 2.5).

Las simulaciones del vuelo del disco indican que los valores óptimos del ángulo de inclinación en condiciones de viento calmado son de entre 26° – 27° (Soong, 1976; Bartlett, 1992). Frohlich (1981) en su revisión sobre el vuelo del disco comenta que la mayoría de investigadores están de acuerdo en que la estrategia óptima con viento calmado es lanzar el disco con un ángulo de inclinación de entre 5° – 10° menor que el ángulo de liberación. Esta posición expondría la parte superior del disco al flujo de aire venidero. Esto haría que el aire ejerza fuerzas descendentes sobre el disco durante la primera parte del vuelo. Tales fuerzas tenderían a reducir la trayectoria del disco no siendo aconsejable. No obstante, en las últimas etapas de vuelo, la dirección hacia delante y abajo que sigue la trayectoria del disco sitúa la parte inferior del disco al flujo de aire venidero. Esto provoca que el aire ejerza una

fuerza elevadora que ayude al disco a viajar más hacia adelante antes de caer (Frohlich, 1981; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997).

Los estudios computarizados de las condiciones óptimas de liberación del disco indican que el ángulo óptimo de ataque es de entre -9 y -10° en condiciones de viento calmado (Soong, 1976; Bartlett, 1992). Lograr este ángulo negativo se considera por la literatura científica como un requisito técnico muy difícil de alcanzar pero común en los buenos lanzamientos, por lo que autores aconsejan ángulos de ataque nulos con el objetivo de utilizar la máxima potencia de fuerza por el lanzador y obtener la estabilidad necesaria del disco para su vuelo (Bartlett, 1992; Hay, 1993). Un ángulo de ataque negativo en el instante de liberación retrasa el incremento positivo del ángulo de ataque que adquiere a través del vuelo, de ese modo demora la caída y alarga la distancia de lanzamiento (figura 2.41) (Kreighbaum y Barthels, 1999). Sin embargo, son escasos los estudios donde se mida el ángulo de ataque en condiciones reales de lanzamiento (Hay, 1993). Terauds (1978) (tabla 2.1) midió este ángulo obteniendo los valores de -15.0 SD 6.7 en categoría masculina.

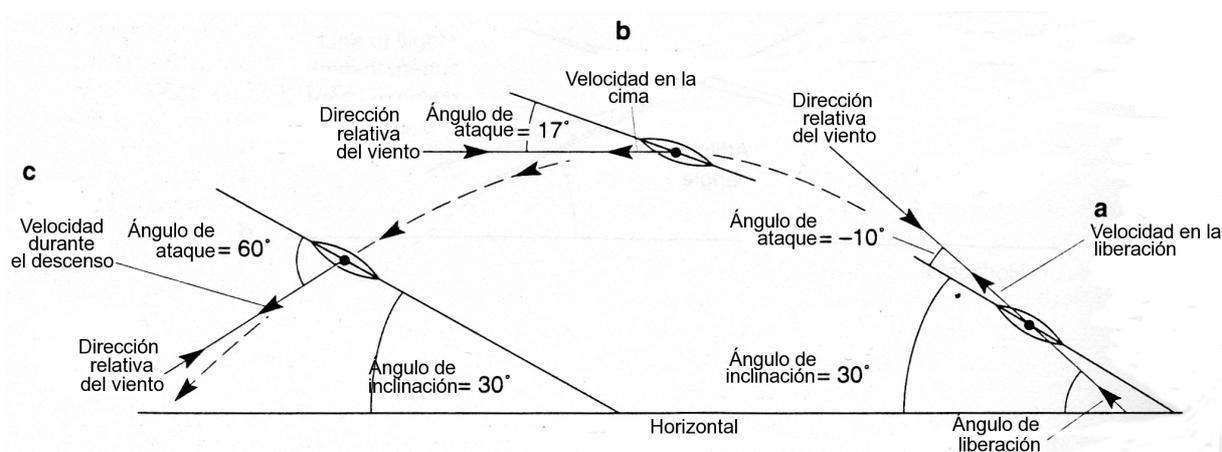


Figura 2.41. Ángulo de ataque, ángulo de liberación y ángulo de inclinación del disco en el instante de liberación (a), en el punto más alto del vuelo (b) y durante el descenso (c) (Adaptado de Kreighbaum y Barthels, 1999).

FUERZA AERODINÁMICA

Una vez que el disco está en vuelo, solamente dos fuerzas pueden influir en su movimiento hasta que este alcance el suelo: la gravedad y la fuerza del aire (Frohlich, 1981; Hubbard, 1989; Hay, 1993; Kreighbaum y Barthels, 1999). Aunque

estas fuerzas no pueden ser controladas por el lanzador, sus efectos pueden afectar considerablemente a la distancia de lanzamiento, por lo que su conocimiento y entendimiento son esenciales para el rendimiento (Soong, 1976; Frohlich, 1981; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997; Neighbour, 1999a).

La forma no esférica del disco le proporciona unas características aerodinámicas que influyen sobre el comportamiento de las fuerzas sobre éste. A mayor capacidad aerodinámica, la fase aérea empieza a ser más interesante y compleja. De los cuatro implementos utilizados en los concursos de lanzamientos la jabalina (su cociente aerodinámico es de 5.33) es el más aerodinámico seguido del disco (su cociente aerodinámico es de 0.764) (Hubbard, 1989; Bartlett, 1992) (tabla 2.6).

Tabla 2.6. Características físicas del disco de categoría masculina. Adaptado de Hubbard (1989)

Masa (Kg)	2.0
Volumen (l)	0.90
Densidad (Kg/l)	2.22
Área de proyección (m ²)	0.039
Masa inversa (Kg ⁻¹)	0.50
Coefficiente de arrastre	1.0
Aerodinamicidad (F_{aero}/F_{grav})	0.764

F_{aero} : Fuerza máxima aerodinámica posible que pueda actuar durante el vuelo. F_{grav} : Constante gravitacional

Son muchos los estudios motivados por el efecto del viento sobre la distancia de lanzamiento desde que Taylor (1932) (citado por Frohlich, 1981) concluyera en su estudio que bajo ciertas condiciones de viento el disco puede prolongar su distancia de lanzamiento.

Para simplificar los cálculos la mayoría de estos estudios asumen que la velocidad del viento es constante durante el lanzamiento e independiente de la altitud, que el disco rota solamente sobre un eje perpendicular a su plano y que los movimientos de rotación sobre los otros ejes son nulos, que la dirección del viento es paralela a la dirección del lanzamiento y que el plano del disco cruza el plano del suelo a lo largo

de una línea perpendicular a la dirección de lanzamiento. Bajo estas asunciones, el cálculo de la trayectoria del disco está determinada por las condiciones iniciales de velocidad de liberación, velocidad del viento, ángulo de liberación, inclinación del disco y altura de liberación (Frohlich, 1981; Barlett, 1992).

Las mejores condiciones de viento para lanzar son las de un viento fuerte en contra sin que éste sea huracanado (Frohlich, 1981; Carr, 1999; Neighbour, 1999a). Un fuerte viento a favor provoca que el disco y aire viajen juntos en la misma dirección. Esta situación reduce las fuerzas que pueden ejercer uno al otro y sus efectos y por consiguiente limita el efecto elevador del medio acortando la distancia de lanzamiento (Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997; Neighbour, 1999a).

La velocidad y dirección del viento modifica la técnica con la que el disco debe ser lanzado (Soong, 1976; Frohlich, 1981; Bartlett, 1992):

- Con viento en contra, el ángulo de inclinación del disco en el instante de liberación debería ser entorno a los 10° – 15° menor que el ángulo de liberación, permitiendo así al disco que durante la mayor parte del vuelo la resistencia al avance sea mínima y la fuerza de sustentación máxima.
- Cuando la velocidad del viento en contra crece, el ángulo de liberación debería descender.
- Con viento a favor, el ángulo de liberación debería aumentarse.

En competición, el viento en contra favorece más a los lanzadores más experimentados que a los menos, dado que es necesario un mayor control sobre los ángulos del disco para obtener un máximo rendimiento (Frohlich, 1981; Bartlett, 1992; Hay, 1993). Frohlich (1981) calculó que con viento en contra el atleta debe controlar el ángulo de liberación en un rango de $\pm 5^{\circ}$ y el ángulo de inclinación en un rango de $\pm 3^{\circ}$, para optimizar su rendimiento. Cuando se lanza con viento en contra, es particularmente importante usar un ángulo de inclinación muy cercano al óptimo. Solamente aquellos lanzadores que sean capaces de lograr un ángulo óptimo obtendrán el máximo beneficio del viento, y aquellos que no cumplan esta premisa verán como su lanzamiento se acorta considerablemente (Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997). Mientras que con viento a favor, Frohlich (1981) obtuvo en sus simulaciones que los valores óptimos poseen un mayor rango de variación de entre

$\pm 6^\circ$ para el ángulo de liberación y de entre $\pm 15^\circ$ para el ángulo de inclinación. Esto demuestra que en condiciones de viento a favor la velocidad y dirección del disco en la liberación toman el mayor protagonismo en detrimento del ángulo de inclinación (Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997).

Un cálculo utilizado en la literatura científica para mostrar el efecto de las fuerzas aerodinámicas sobre el disco durante su vuelo es comparar la distancia teórica en un hipotético lanzamiento en vacío con la distancia oficial de lanzamiento. Esta distancia ganada o perdida es denominada distancia aerodinámica y fue analizada en cuatro estudios previos (Terauds, 1978; Hay y Yu, 1995a; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997) (tabla 2.7).

Tabla 2.7. Muestra, distancia oficial y distancia aerodinámica de los estudios seleccionados de la bibliografía

Autores	n	Sexo	d_o (m)	d_A (m)
Terauds, 1978	10	♂	61.57 SD 5.67	-0.58 SD 4.58
Hay y Yu, 1995a	14	♂	59.07 SD 4.43	2.42 SD 3.29
	15	♀	57.90 SD 7.51	4.05 SD 3.15
Dapena y Anderst, 1997	26	♂	58.44 SD 2.98	2.95 SD 3.02
Dapena y cols. 1997	17	♀	56.16 SD 4.00	4.83 SD 2.98

2.4.4 MÉTODOS DE VALORACIÓN DE LA TÉCNICA DEL LANZAMIENTO DE DISCO

Las evaluaciones regulares del lanzamiento de disco pueden hacer una contribución significativa al conjunto de la planificación del entrenamiento, especialmente en el mantenimiento y evolución de la técnica. Toda planificación y entrenamiento debería incluir un procedimiento sistemático para la evaluación del rendimiento, por lo que los informes científicos deportivos contribuyen a este objetivo (Mendoza y Schöllhorn, 1990; 1991; Ferro y cols, 1998; Neighbour, 1998).

Grosser y cols. (1989) distinguieron cinco pasos sucesivos en el proceso de control y evaluación de la ejecución del movimiento.

-
- Diagnóstico de una momentánea ejecución tanto en entrenamiento como en competición.
 - Establecimiento de los objetivos, planificación de entrenamientos y competiciones
 - Ejecución de entrenamientos y competiciones.
 - Control y análisis del entrenamiento y de las competiciones por medio de la auto-observación y observación objetiva.
 - Evaluación, comparación de objetivos y corrección de errores.

Para establecer los objetivos y su posterior evaluación, es necesario construir un perfil de las demandas del evento que identifiquen las variables de eficacia del movimiento decisivas para el rendimiento, así como el nivel de su influencia en dicho rendimiento (Knicker, 1992). Para ello, los técnicos deportivos han venido utilizando diferentes métodos para valorar la técnica de los lanzadores de disco, entre otros se pueden destacar la observación sistemática englobada dentro de un análisis cualitativo.

Para facilitar el análisis de la ejecución técnica del lanzamiento de disco aparecen en la bibliografía las denominadas “*check list*” que podríamos traducir como *lista de control técnico* (McGill, 1983; Bosen, 1985; Bottcher, 1993; Altmeyer y cols. 1994; Waters, 1994):

- McGill (1983) propone en su artículo una lista de control técnico en la que divide el gesto en cuatro fases (*Balanceo Inicial, Salto, Posición de Potencia y Liberación*). En cada fase, fija varios aspectos técnicos de referencia con sus correspondientes criterios que el técnico deportivo debe observar. Para cada aspecto técnico propone una escala de puntuación; al valor “1” le correspondería a una ejecución deficiente y al valor “4” correspondería a una ejecución excelente.
- Bosen (1985) crea una tabla con tres columnas, en la primera identifica los errores más comunes que comenten los lanzadores, en la siguiente explica las

razones de cada uno de los errores y en la última propone ejercicios para corregir los aspectos técnicos correspondientes.

- Bottcher (1993) y Altmeyer y cols. (1994) dividen sus artículos en dos partes diferenciadas. En la primera parte, plantean un modelo técnico identificando cinco instantes importantes a valorar en el lanzamiento de disco; cada uno de ellos se describe con la ayuda de dibujos y comentarios y proponen parámetros biomecánicos para evaluarlos. En la segunda parte del artículo, los autores listan los errores más comunes añadiendo las causas y proponiendo ejercicios para corregirlos.
- Tidow (1994) expone en su artículo una hoja de análisis del lanzamiento de disco en un intento de integrar los aspectos técnicos de cada fase. El autor divide la hoja de evaluación en 5 columnas. En la primera, representa un dibujo doble, el primero de ellos hace referencia a la posición inicial y el segundo a la posición final de la fase que delimita. En la segunda columna, define el nombre de la fase que escenifica el dibujo doble anterior. En la tercera columna, lista los puntos de referencia que debe observar el técnico deportivo. En la cuarta columna, enumera los criterios correctos para cada uno de los puntos de referencia anteriores. Y la última columna, la reserva para la evaluación del técnico deportivo; para ello dispone de tres ítems: bien (+), regular (0), o mal (-).
- Waters (1994) presenta una completa lista de control técnico. En esta lista aparecen ítems claros y concisos de cómo deben actuar los miembros inferiores y superiores en cada una de las fases en las que se divide el movimiento. El proceso de evaluación establece una escala del 1 al 10 para puntuar a cada ítem.

Esta valoración cualitativa que aparece en la bibliografía consultada es muy útil para técnicos deportivos y atletas pero resulta limitada cuando se trata de profundizar en el conocimiento de la técnica.

Entre los cometidos de la biomecánica deportiva está el de analizar el movimiento humano con el objetivo final de mejorar su efectividad. Para realizar esta tarea existen en la literatura científica diferentes propuestas para el análisis técnico de los gestos deportivos.

Luttgens y Wells (1985) propusieron un modelo de análisis kinesiológico para ayudar a comprender los elementos básicos y las necesidades de una destreza motriz. A continuación se presentan los componentes básicos del análisis kinesiológico propuesto por estos autores:

1. Descripción de la realización de la destreza. En este primer paso se debe esencialmente identificar el propósito principal del movimiento.
2. Análisis anatómico. El análisis anatómico del movimiento debe incluir un examen de la acción articular del esqueleto, la importancia de la participación muscular y una identificación del mecanismo neurológico involucrado.
3. Análisis mecánico. El análisis mecánico de una actividad conlleva la identificación de leyes y principios que ayuden a explicar la forma más apropiada para la ejecución de la actividad, y a identificar las razones mecánicas para el éxito o fracaso.
4. Prescripción para mejorar la actuación. Se debe decidir la estrategia apropiada para producir cambios en la actuación de modo que se adapte al ideal anatómico y mecánico.

Kreighbaum y Barthels (1999) propusieron un análisis que consistía en estudiar el gesto deportivo vinculando el propósito mecánico, los factores biomecánicos, los principios biomecánicos y las características críticas del gesto. En la tabla 2.8 se expone a modo de ejemplo un análisis propuesto por Kreighbaum y Barthels (1999) para el salto de trampolín en la fase de impulsión y despegue. Las fases del proceso de análisis son las siguientes:

1. Identificar el objetivo del movimiento. El objetivo general de rendimiento se expresa en términos mecánicos, por ejemplo, el objetivo del lanzamiento de disco es lanzar el implemento a la máxima distancia horizontal.
2. Dividir la habilidad en diferentes fases.
3. Identificar el propósito mecánico de cada fase de movimiento. Cada una de las fases tiene su propio propósito mecánico que facilita y contribuye el cumplimiento con éxito del objetivo general de rendimiento. En la medida que se consiga el

propósito mecánico de cada una de las fases del movimiento se establecen las condiciones ideales necesarias para conseguir el objetivo general de rendimiento.

4. Elaborar una relación de los factores biomecánicos que determinan la consecución del propósito mecánico.
5. Identificar los principios biomecánicos que relacionan los factores biomecánicos con el rendimiento.
6. Elaborar una relación de las características críticas de cada componente. Las características críticas son esas acciones corporales que pueden ser observadas por el entrenador.

Tabla 2.8. Factores biomecánicos, principios biomecánicos y características críticas del tercer componente discreto de un mortal y medio hacia delante en salto de trampolín: la impulsión y despegue en la batida (Adaptado de Kreighbaum y Barthels, 1999).

Propósito Mecánico: Proyectar el cuerpo verticalmente lo más alto posible con el ángulo óptimo.		
Factores biomecánicos	Principios biomecánicos	Características críticas
Máximo descenso de la tabla	Cuanto mayor sea la energía cinética en el momento de contacto, mayor será el hundimiento de la tabla	Acelerar la flexión de hombros y extender la cadera, rodilla y tobillo cerca del punto más bajo del descenso de la tabla
Máxima fuerza de recuperación de la tabla	Cuanto mayor sea el descenso de la tabla mayor será la energía de recuperación almacenada	Extender el cuerpo rígido durante la fase inicial de recuperación de la tabla
Máxima altura del centro de masas en el despegue	Cuanta mayor sea la energía de recuperación de la tabla mayor será la velocidad vertical en el despegue	Hombros flexionados en el despegue
Máxima velocidad vertical de despegue del centro de masas	Cuanta mayor sea la velocidad vertical en el despegue, mayor será la altura del centro de masas en su punto más alto	Gran desplazamiento vertical del centro de masas y óptimo desplazamiento horizontal para las maniobras necesarias

2.5 JUSTIFICACIÓN

El lanzamiento de disco es una de las especialidades más antiguas dentro del programa de los Juegos Olímpicos, sin embargo como se ha podido comprobar la literatura científica es escasa sobre esta especialidad (Knicker, 1992; Hay y Yu, 1995a).

El mayor interés de la biomecánica deportiva con relación al lanzamiento de disco ha sido el estudio de la secuencia de los movimientos que realiza el lanzador en las diferentes fases en las que se divide el gesto. Sorprendentemente, los estudios científicos que proporcionan resultados cuantitativos sobre los movimientos que se suceden en el gesto técnico son reducidos, ya que la mayoría de los trabajos se centran en el análisis del instante de liberación del disco y en la influencia de las fuerzas aerodinámicas que recibe el disco durante su vuelo. El grueso de la literatura relativa a la técnica del lanzamiento de disco lo constituyen descripciones cualitativas y discusiones de los técnicos deportivos sobre la técnica, que en algunas ocasiones incluyen secuencias fotográficas.

Los datos cuantitativos que aparecen en la literatura científica proporcionan abundante información sobre los parámetros de liberación del disco que tiene poco valor práctico para el entrenamiento diario de los atletas. Estos valores difícilmente proporcionan una orientación sobre los movimientos que debe hacer el lanzador para aumentar la distancia de vuelo. Un análisis biomecánico de la ejecución a lo largo del lanzamiento de disco ayudaría a optimizar los parámetros de salida. Sin embargo, en la literatura científica existen escasas investigaciones dónde se estudien aspectos técnicos ejecutados y entrenados por los lanzadores de disco, llegando incluso a muchos de ellos a no ser analizados. Estos aspectos técnicos son necesarios cuantificar y relacionar entre ellos con el objetivo de clarificar los mecanismos que operan en el lanzamiento de disco. Aspectos técnicos claves como puede ser la participación de las articulaciones de los miembros superior e inferior en la trayectoria del disco; o como puede ser, la participación de la secuencia y grados de torsión del atleta en las fases previas a la liberación no han sido estudiados con profundidad en la bibliografía consultada.

Un estudio biomecánico sobre la técnica del lanzamiento de disco utilizando técnicas de fotogrametría tridimensional con cámaras de alta velocidad sería adecuado para el análisis de las variables de eficacia que determinan el rendimiento (Ferro y cols. 1998).

Una de las posibles causas de los limitados estudios cinemáticos sobre la especialidad del lanzamiento de disco podría ser que requieren un complejo análisis tridimensional y el uso de técnicas de filmación de alta velocidad debido a que el movimiento se desarrolla a gran velocidad en los tres ejes del espacio.

A pesar de la escasez de estudios científicos sobre la especialidad, se está generando una necesidad por parte de técnicos deportivos y deportistas que reclaman más información. Una vez que el atleta ha alcanzado cierto nivel de ejecución la mejora de su técnica se mueve en un rango muy pequeño de valores. Estas pequeñas diferencias son difícilmente valoradas y por consiguiente conocer su influencia en el rendimiento es difícil. Por lo tanto, necesitan de un diagnóstico científico del movimiento por medio del análisis cinemático que puedan guiar el entrenamiento del lanzador de disco para optimizar su rendimiento (Mendoza y Schöllhorn, 1990; 1991; Knicker, 1992).

No obstante los datos cinemáticos por sí solos son una mera descripción del movimiento del atleta de un modo totalmente formal. Solamente el uso habitual de diagnósticos cinemáticos de la técnica en diferentes situaciones contribuirá a una mejora del rendimiento individual. Teniendo en cuenta que la técnica ideal solamente existe para un atleta concreto y no puede ser generalizada para el total de la población, se produce un dilema para cualquier técnico deportivo que debe separar entre errores y variaciones individuales de la técnica (Knicker, 1994a, 1994b).

Por otra parte, para que las variables biomecánicas se ajusten a los comentarios y descripciones cualitativas del gesto realizadas por los técnicos deportivos es necesario conocer su relación. Consecuentemente, en la bibliografía consultada queda por establecer un nexo de unión biomecánico – técnico deportivo y esclarecer si las apreciaciones de los técnicos basadas en sus propias experiencias, tienen un fundamento científico. Solamente el análisis biomecánico cinemático por medio de técnicas instrumentales precisas puede ayudar a conseguirlo.

Resumiendo los párrafos anteriores, se podría decir que existen escasos estudios de análisis biomecánico del lanzamiento de disco y más concretamente, aquellos dónde se cuantifique los movimientos previos al instante de liberación del disco. A su vez, existe la necesidad creciente de relacionar las descripciones técnicas del gesto aportadas por los técnicos deportivos con los datos cuantitativos valorados científicamente por los biomecánicos sobre los movimientos que realiza el atleta a lo largo del lanzamiento. A la vista de las carencias encontradas en la bibliografía consultada se plantea como objetivo de esta tesis analizar, desde un punto de vista biomecánico, la técnica del lanzamiento de disco en una población de deportistas de alto nivel que sirva de referencia para biomecánicos y técnicos deportivos. Asimismo, se plantea crear un cuadro que relacione aspectos relevantes de la técnica observados por los técnicos deportivos con variables biomecánicas recogidas tanto en la bibliografía consultada como aportadas por la presente tesis.

Por último, para cubrir los anteriores objetivos, es necesario la puesta a punto de una metodología de análisis cinemático tridimensional utilizando técnicas de fotogrametría cine de alta velocidad que permitan la cuantificación de las variables biomecánicas de eficacia.

Material y métodos

3 MATERIAL Y MÉTODOS

El capítulo de material y métodos se ha dividido en cuatro apartados. El primero hace referencia al diseño del *Cuadro de Variables de Eficacia* del lanzamiento de disco; el segundo describe la muestra seleccionada; el tercero describe las técnicas instrumentales así como al material utilizado en el presente trabajo. En un último apartado se presenta el diseño experimental de la investigación, el desarrollo de las experiencias, el tratamiento de los datos y la generación de los resultados.

3.1 DISEÑO DEL CUADRO DE INDICADORES DE EFICACIA

Con objeto de identificar, clasificar y ordenar las variables que permiten el análisis y valoración biomecánica del lanzamiento de disco se elaboró un *Cuadro de Indicadores de Eficacia*. La creación de dicho cuadro se llevó a cabo a lo largo de las siguientes etapas:

- Recogida de información.
- Fijar el objetivo final del movimiento.
- Dividir el movimiento en fases.
- Fijar los criterios de eficacia biomecánica de cada fase.
- Identificar los aspectos técnicos críticos utilizados por los técnicos deportivos.
- Identificar las variables biomecánicas que están relacionadas con los aspectos técnicos.
- Definir las variables biomecánicas que cuantifican dichas variables.
- Señalar los criterios de ejecución.
- Anotar los valores aportados por la bibliografía para esas mismas variables biomecánicas.
- Cuantificar las variables biomecánicas definidas para la muestra de estudio.

Los resultados generados en el proceso anterior fueron recogidos en un cuadro resumen creado para el efecto. La cabecera de dicho cuadro se presenta en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Cabecera del *Cuadro de Indicadores de Eficacia*.

Criterio de Eficacia	Aspectos Técnicos	Variable Biomecánica	Criterio de valoración	Datos						
				Bibliografía			Tesis			
				Media SD	max	mín	Media SD	max	mín	

La fase de recogida de información consistió en un proceso exhaustivo de síntesis de información procedente, por un lado, de la propia observación *in situ* del lanzamiento de disco realizado durante la competición; por otro lado, de las reuniones mantenidas con técnicos deportivos para conocer sus inquietudes y problemas a resolver y finalmente de la recogida y lectura de artículos que versaban sobre la técnica del lanzamiento de disco.

En el procedimiento de recopilación de artículos se incluyeron textos escritos en una amplia variedad de fuentes y autores. La de fuentes consultadas incluían artículos con entrevistas a técnicos deportivos y atletas, artículos escritos por los propios técnicos deportivos, artículos científicos, actas de congresos y eventos científicos, informes técnicos sobre campeonatos oficiales, consulta en foros especializados en Internet, etc. Entre los trabajos y autores consultados se encontraron algunas opiniones sin fundamentos científicos sólidos, por lo que éstos fueron tomados con cautela debido a que sus resultados y conclusiones podrían ser débiles. Con todo, la base bibliográfica obtenida fue extensa abarcando un gran número de artículos que trataban el lanzamiento de disco desde muy diferentes puntos de vista (biomecánico, alto rendimiento, pedagógico, médico...). El resultado final de esta fase de recolección de información está presentado en el apartado de Revisión Bibliográfica de esta tesis.

La segunda fase de diseño del cuadro consistió en expresar con precisión el objetivo final del movimiento. Debido a que el lanzamiento de disco es un evento cuya

demanda es lanzar el disco tan lejos como sea posible, el objetivo último del atleta es incrementar esa distancia de lanzamiento. Una vez identificado el objetivo final del movimiento, éste estará presente de forma continuada en todas las fases de creación del *Cuadro de Indicadores de Eficacia*.

El siguiente paso fue dividir el movimiento en fases. Para ello se utilizó el contacto de los pies con el suelo como instantes característicos que acotaban cada una de las fases. Este mismo criterio de división ha sido habitualmente usado en la literatura científica (Knicker, 1992; Dapena, 1993; Tidow, 1994; Hay y Yu, 1995; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997; Knowles, 1997; Knicker, 1999; Yu y cols. 2002). Con el objetivo de que el tamaño del *Cuadro de Indicadores de Eficacia* fuera manejable, se dividió éste en varios cuadros menos extensos en longitud pero manteniendo la misma cabecera. El criterio utilizado para la división fue el de las fases del movimiento. Para cada fase se creó sucesivos cuadros así como para los instantes característicos de: Posición de Salida, Posiciones Iniciales de las Fases 2, 3 y 4 y Posición en el Instante de Liberación del disco.

Delimitadas las fases en las que se dividió el movimiento, se procedió a fijar los criterios de eficacia biomecánicos de cada una de las fases basándose en la información recopilada en el apartado de Revisión Bibliográfica. En cada una de las fases se definió un criterio de eficacia; la consecución de cada uno de ellos contribuye al logro con éxito del objetivo final.

El siguiente paso fue identificar los aspectos técnicos críticos del movimiento. Los aspectos técnicos se definen en este trabajo como aquellos términos o expresiones correspondientes a fases o instante de movimiento observable por los técnicos deportivos para evaluar si el lanzamiento ha sido ejecutado correctamente. Entre ellos podríamos poner como ejemplos: “continuar el giro del cuerpo desde las caderas permaneciendo el disco en situación retrasada durante las primeras fases del movimiento”, “llevar el disco de abajo a arriba en la última fase” o “aproximar los muslos durante la *Fase de Vuelo*”. En este sentido se ha acudido a las fuentes y terminología específica de los técnicos deportivos.

Identificados los aspectos técnicos críticos, estos se ordenaron y clasificaron en el *Cuadro de Indicadores de Eficacia* en función de dos criterios:

- La fase en la que se observan: Si el aspecto técnico se ejecutaba a lo largo de varias fases consecutivas éste aparecía reflejado en los cuadros de cada una de las fases en las que actuaba.
- El criterio de eficacia biomecánico: Los criterios de eficacia biomecánicos están asociados a aspectos técnicos observables en el movimiento. La ejecución de un movimiento sobre la base de unos principios biomecánicos tendría como resultado que el movimiento se realizará de forma biomecánicamente eficaz.

A continuación se definieron las variables biomecánicas que podrían cuantificar los aspectos técnicos identificados anteriormente. En la siguiente fase, se establecieron para cada una de las variables biomecánicas un criterio, con el fin de conocer en que sentido deberían ser las mejoras de esos valores.

Posteriormente, para cada variable biomecánica estudiada en investigaciones recogidas en la bibliografía se anotaron los valores aportados. Entre los valores se incluyeron para cada categoría, masculina y femenina, la media, la desviación estándar y los valores máximo y mínimo.

Con posteridad, con objeto de cuantificar las variables biomecánicas en una muestra de lanzadores españoles de categoría nacional se planteó el trabajo experimental que se expone en los siguientes apartados. Los resultados obtenidos de este trabajo se anotaron en la última columna del cuadro. Los valores constituyen una base de datos referida a la población de deportistas de alto nivel y pretenden servir de referencia para que técnicos deportivos de cualquier nivel puedan estudiar, analizar y comparar la biomecánica de sus atletas con relación a estos.

Se debe destacar que el *Cuadro de Indicadores de Eficacia* se diseñó pensando en la utilidad que le iban a dar los técnicos deportivos. Por tanto, se busco que su forma, tamaño y patrón fuese clara, concisa y fácil de consultar.

Del mismo modo los valores que completan el *Cuadro de Indicadores de Eficacia* constituyen una base de datos referida a la población de deportistas de alto nivel y pretende servir de referencia para que entrenadores de cualquier nivel puedan estudiar, analizar y comparar datos biomecánicos de otros atletas con relación a éstos.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA SELECCIONADA

La muestra objeto de estudio estuvo formada por 8 hombres y 5 mujeres, cuyas características se detallan a continuación:

- La edad media de los participantes a lo largo de las competiciones filmadas fue de 23.8 años SD 4.1 en categoría masculina, y de 29.1 años SD 4.3 en categoría femenina.
- Todos ellos fueron lanzadores de disco de categoría nacional.
- Fueron seleccionados para el estudio por su buen rendimiento deportivo habiendo participado al menos una vez en algún Campeonato de España de Atletismo en Categoría Absoluta.
- Es un grupo homogéneo en cuanto a que han sido dirigidos por un mismo responsable técnico perteneciente a la Real Federación Española de Atletismo durante los años en las que se filmaron las competiciones.

Según las normas de ética de la investigación con humanos, todos los sujetos fueron informados previamente de los siguientes aspectos:

- Del objetivo del estudio y de las pruebas a que deberían someterse.
- De que su participación habría de ser voluntaria y que podría retirarse del estudio en cualquier momento.
- De que, si lo deseaban, sus nombres podrían quedar en el anonimato y ser confidenciales los resultados.
- De que las pruebas no implicaban ninguna actividad peligrosa, utilizándose técnicas de análisis no invasivas.

Todos los sujetos se ofrecieron voluntarios y dieron su autorización a utilizar sus nombres y la información obtenida en su propio beneficio y en el de la investigación.

3.3 TÉCNICAS INSTRUMENTALES Y MATERIAL UTILIZADO

El lanzamiento de disco es un gesto con componentes de movimientos en los tres ejes del espacio que finaliza con un lanzamiento de un objeto, de tipo balístico; de ahí que se requiera una técnica de fotogrametría tridimensional de alta velocidad para su análisis biomecánico. Por lo tanto en este estudio se utilizaron las técnicas de fotogrametría cine tridimensional, para realizar la descripción cinemática del movimiento.

La fotogrametría tridimensional, se define como aquella técnica que se ocupa de determinar dimensiones, forma y posiciones de objetos a partir de imágenes (Zatsiosky, 1989). En el lanzamiento de disco es necesario registrar eventos con precisión, como son los apoyos y despegues de los pies, la liberación del disco, para lo que se necesitan elevadas frecuencias de filmación (Susanka y cols. 1988). Por consiguiente, la técnica utilizada para el análisis cinemático del movimiento del lanzador dentro del círculo fue en ese trabajo la fotogrametría cine de alta velocidad. Las cámaras de cine van cargadas con una película de 16mm cuya emulsión de plata confiere al celuloide una alta sensibilidad (500 ASA). La imagen del deportista es registrada a una alta frecuencia gracias a un motor de arrastre de la película que es capaz de filmar hasta 500 imágenes por segundo. Además, un sistema de obturación, de entre 7.5 y 160 grados, permite congelar la imagen disminuyendo el tiempo de exposición.

A partir de la película filmada se analiza la imagen midiendo las posiciones de los puntos característicos del deportista respecto a un sistema de coordenadas previamente calibrado. La posición de los puntos, en relación con el tiempo, nos permitirá calcular las variables cinemáticas que describen el movimiento y que se detallarán en este apartado.

Existen en el mercado diferentes técnicas de fotogrametría que, básicamente, difieren en el equipo de registro de las imágenes o de los puntos característicos del deportista. Aunque los programas informáticos del tratamiento de los datos y salida de resultados mediante programas informáticos difieren entre sí, todos ellos tienen el mismo fundamento.

En la actualidad están muy extendidos los equipos que realizan la digitalización de forma automática, permitiendo así la obtención de resultados instantáneos. Pero todavía son muchos los requisitos (marcadores, espacio, luz...) que son necesarios para que estos equipos funcionen correctamente. Estas condiciones limitan e impiden su utilización en situación real de competición.

Los motivos que justifican la elección de esta técnica están basados en los siguientes argumentos (Ferro, 1996; 2001):

- Es una técnica de filmación que permite registrar imágenes a una elevada frecuencia. Según el teorema del muestreo de Shannon, *“la técnica de registro de la señal deberá permitir un muestreo a una frecuencia que como mínimo doble la frecuencia más alta de la señal que se quiere analizar”* (Winter, 1990). La práctica demuestra que, para no perder información del movimiento, es necesario filmar no sólo al doble, sino a una frecuencia cinco o seis veces superior.
- La técnica no interfiere en el movimiento del deportista, consecuentemente puede ser utilizada en condiciones de competición.
- La gran resolución de las imágenes hace el análisis más preciso puesto que éstas han de ser digitalizadas manualmente y deben visualizarse con la máxima nitidez. La resolución se define como el número de pares de líneas por milímetro. En películas de 16mm, donde el ancho de la película es 10.2mm, la precisión horizontal es de $\pm 10\text{mm}$ para un campo de filmación de 8m de anchura.

Por el contrario, los principales inconvenientes de la fotogrametría cine de alta velocidad son:

- El alto coste del material fotográfico para el que es necesario disponer de un presupuesto considerable.
- La necesidad de proceso de revelado y positivado, unido a la imposibilidad de visualizar lo filmado al momento, sino unos días después, hace que se pierda la oportunidad de repetir las tomas deficientes de luz o filmadas a destiempo.

- El proceso de digitalización, inherente a la técnica de tratamiento de las imágenes, se multiplica con el aumento de la velocidad de filmación y la disponibilidad de un número mayor de fotogramas que, aunque aumente notablemente el rigor del estudio, lo hace más tedioso.

Aunque existen estudios bidimensionales (Terauds, 1978; McCoy y cols. 1985) que presentan resultados cinemáticos que en su mayor parte hacen referencia a valores de los parámetros de salida del disco, la cinemática de la técnica de lanzamiento de disco ha de ser tridimensional (Bartlett, 1992).

3.3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS

Se han diferenciado dos apartados en los que se describen, por un lado los materiales utilizados en el registro de imágenes y, por otro, los utilizados para el tratamiento de datos y generación de resultados.

3.3.1.1 EQUIPO PARA EL REGISTRO DE IMÁGENES

- Dos cámaras de cine *Photosonic – 1PL* de alta velocidad con las siguientes características:
 - Rango de registros de 10 a 500 fotogramas por segundo.
 - Sistema de arrastre intermitente (*pin – registration system*) que minimiza el movimiento de la película durante la filmación.
 - Tiempo de aceleración de 0 a 500 f.p.s. de 3 segundos, siendo directamente proporcional.
 - Obturador circular de apertura variable de 7.5° a 160°.
 - Generador de base de tiempos mediante LEDs a 10Hz, 100Hz y 1000Hz con marcaje lateral de la película. El reloj interno es independiente en cada cámara.

- Sistema de LEDs para marcaje de eventos, con disparo manual, que vela la película en el lateral opuesto al de tiempos. Este sistema marca simultáneamente las dos películas en el mismo instante y en la misma posición del fotograma permitiendo la sincronización posterior de las secuencias filmadas.
- Magazín para albergar un rollo de película de 400 pies máximo y 16mm.
- Sistema de sincronismo electrónico de cámaras, situado en la cámara esclava y controlado por la maestra mediante cableado. Cada cámara puede trabajar también de forma independiente.
- Lentes tipo C de 1" de diámetro, 32 líneas / pulgada y 0.690" de distancia focal.
- Accesorios de las cámaras:
 - Juego de ópticas:
 - Dos objetivos de 24mm, 55mm Ø, 1:2.5.
 - Dos objetivos de 17mm, 82mm Ø, 1:3.5.
 - Dos macros de 28mm – 70mm, 52mm Ø, 1:3.5 – 4.5.
 - Dos macros de 70mm – 210mm, 52mm Ø, 1:4 – 5.6.
 - Juego de filtros:
 - Dos filtros naranja *Kenko W12*, 55mm Ø.
 - Dos filtros naranja coef. 2/3 naranja 85.
 - Cuatro adaptadores 52mm a 55mm Ø, para filtros.
 - Juego de parasoles:
 - Dos parasoles de 55mm Ø.
 - Dos parasoles de 82mm Ø.
 - Dos baterías independientes para asegurar la autonomía, con cargador a 220V.

- Funcionamiento con corriente DC $28V \pm 4V$ y 24A iniciales para el arranque y 12A en marcha, AC de $115V \pm 10V$, 50Hz – 400Hz, y 5A inicio y 3A en marcha.
- Dos trípodes.
- Chasis de 400 pies enteros y partidos.
- Fotómetro modelo *Gossen*, con medida de ángulo de 30° y escala EV entre 8 y 22.
- Un sistema de referencia modular de estructura cúbica y rígida de dimensiones $2m^3$ (*IBV*). El sistema está formado por:
 - Doce barras de aluminio de 50mm de diámetro.
 - 8 nudos en forma de cruz.

Las barras se unen a los nudos mediante abrazaderas para asegurar la rigidez del sistema. El peso aproximado es de 40Kg.

3.3.1.2 EQUIPO PARA EL TRATAMIENTO DE LOS DATOS Y GENERACIÓN DE RESULTADOS

- Dos moviolas lectoras de film marca *Kodak Rollfilm Reader 322^a*.
- Sistema de proyección – digitalización. Está compuesto de los siguientes elementos:
 - Una mesa digitalizadora (*IBV*) de 750mm x 1300mm capaz de albergar un proyector analizador. Incorpora un sistema de cinco espejos de primera superficie que, mediante reflexiones a 45° , permiten visualizar la imagen sobre una pantalla traslúcida. Sobre esta pantalla se sitúa un digitalizador.
 - Un proyector analizador *NAC mod. DF – 16C*.
 - Un digitalizador sónico *SAC – GP7 GRAFBAR MARK II*, con cursor; área activa de 24 x 18 pulgadas; interfase serial *RS – 232 – C* de 110 a 19.200

baudios; entrada / salida: serial *ASCII*; velocidad de digitalización: 35 puntos/s a 19.200 baudios.

- Un ordenador *DELL Pentium® 3 CPU 512MB de RAM*, con impresora HP Deskjet 720c.
- Software *Fotogram – IBV v.7.6* para la recogida de las coordenadas y velocidades de los puntos digitalizados.
- Paquete de ofimática *Microsoft Office 2000 Premium*: con las aplicaciones *Microsoft Excel* para el diseño de una *macro* que prepare los datos de posición y velocidad para almacenarlos posteriormente en la base de datos, y con *Microsoft Access* para la elaboración de una base de datos.
- Software *MatLab 6.5* para la elaboración de algoritmos de cálculo de variables.
- Software *SPSS 12.0* para el tratamiento estadístico.

3.3.2 CONDICIONES DE USO

La marca del evento producida por el LED vela la película 13 fotogramas después de haber sido pulsado el botón correspondiente.

Las lentes deben limpiarse con el kit de limpieza propio de las cámaras, evitando el rayado de las lentes.

Cada vez que se realice una filmación deberán limpiarse los magazines por si quedaran residuos de emulsión o trozos de película. Para ello, si es preciso, se ha de desmontar el sistema.

Al finalizar una filmación y antes de comenzar la siguiente se deben engrasar las cámaras utilizando el aceite de silicona y de grafito, siguiendo las instrucciones del fabricante.

El enhebrado de la película es complejo y se ha de hacer con cuidado: las perforaciones de la película deberán quedar perfectamente encajadas en los pines, de forma que los rodamientos y engranajes se muevan con suavidad. En caso de

que la película se rompa durante la filmación, se deberá limpiar bien el magazín para que no se enganche.

Los cables de conexión no deberán sufrir torsiones, cortes o aplastamientos y los conectores deberán ser insertados sin forzar para evitar que los pines se doblen.

3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL Y TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DE DATOS

A continuación se presenta el diseño experimental y las técnicas de tratamiento de los datos y generación de resultados utilizadas en este trabajo. Consta de los siguientes apartados.

- Diseño de experiencias.
- Desarrollo de experiencias.
- Método de tratamiento de los datos.
- Generación de resultados.
- Método de tratamiento de los resultados.

3.4.1 DISEÑO DE EXPERIENCIAS

Dado que el objetivo del trabajo fue identificar las variables biomecánicas de eficacia de la técnica del lanzamiento de disco fue necesario generar datos relativos al patrón de movimiento de esta técnica.

Se eligió filmar los lanzamientos realizados en diferentes Campeonatos de España de Atletismo por considerarse la competición más importante a escala nacional de cada temporada. De igual modo, se aprovechó que la Copa de Europa de 1996 se celebraba en nuestro país para filmar los lanzamientos que allí se produjeron. Con la elección de estas competiciones se aseguraba que el estado de forma y la motivación de los atletas seleccionados debería de ser máxima.

Se controló que el proceso posterior de digitalización de las imágenes se realizara por el mismo operador con la intención de reducir el error inter-operador.

Los lanzamientos analizados fueron los mejores intentos de cada sujeto de la muestra en la participación de las siguientes competiciones:

- LXXV Campeonato de España Absoluto al Aire libre celebrado en Madrid los días 21, 22 y 23 de julio de 1995.
- Copa de Europa SPAR · Súper Liga celebrada en Madrid los días 1 y 2 de junio de 1996.
- LXXVI Campeonato de España Absoluto al Aire libre celebrado en Málaga los días 29 y 30 de junio de 1996.
- LXXVII Campeonato de España Absoluto al Aire libre celebrado en Salamanca los días 20 y 21 de julio de 1997.
- LXXVIII Campeonato de España Absoluto al Aire libre celebrado en San Sebastián los días 2 y 3 de agosto de 1998.

En total la muestra estuvo compuesta por 13 lanzamientos analizados en categoría masculina con unas distancias que oscilaron desde 47.52m a los 62.00m; y 12 lanzamientos analizados en categoría femenina con unas distancias comprendidas entre 47.14m y los 54.32m. La relevancia de la muestra se debió tanto a la calidad de los atletas analizados como al tipo de lanzamientos ya que todos fueron registrados en competiciones oficiales. Los lanzamientos analizados en los diferentes campeonatos se pueden observar en las tablas 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6.

Tabla 3.2. Muestra analizada en el LXXV Campeonato de España de Atletismo de 1995.

Categoría	Sujeto	Distancia oficial (m)
Masculina	Abraham Delgado	52.58
	Carlos Esparza	51.76
Femenina	Ángeles Barreiro	53.58
	Sonia Godall	52.02

Tabla 3.3. Muestra analizada en Copa de Europa SPAR · Súper Liga de 1996.

Categoría	Sujeto	Distancia oficial (m)
Femenina	Ángeles Barreiro	51.10

Tabla 3.4. Muestra analizada en el LXXVI Campeonato de España de Atletismo de 1996.

Categoría	Sujeto	Distancia oficial (m)
Masculina	David Martínez	62.00
	Carlos Esparza	55.02
	Abraham Delgado	53.42
	José Luis Valencia	53.34
	David Miqueleiz	51.90
	Enrique Fernández	49.82
	José Amat	49.48
	Mario Pestano	47.52
Femenina	Ángeles Barreiro	53.52
	Rita Lora	52.84
	Sonia Godall	52.38
	Carmen Sole	47.14

Tabla 3.5. Muestra analizada en el LXXVII Campeonato de España de Atletismo de 1997.

Categoría	Sujeto	Distancia oficial (m)
Masculina	Carlos Esparza	51.78
	José Amat	51.20
Femenina	Rita Lora	54.24
	Ángeles Barreiro	53.78

Tabla 3.6. Muestra analizada en el LXXVIII Campeonato de España de Atletismo de 1998.

Categoría	Sujeto	Distancia oficial (m)
Masculina	Mario Pestano	53.42
Femenina	Carmen Sole	54.32
	Ángeles Barreiro	51.43
	Margarita Ramos	50.88

3.4.2 DESARROLLO DE EXPERIENCIAS

La etapa experimental abarca todo lo referente a la filmación en la zona de los lanzamientos. Las filmaciones se llevaron a cabo en los cuatro Campeonatos de España de Atletismo al Aire Libre desde 1995 hasta 1998 y en la Copa de Europa de 1996.

3.4.2.1 PREPARACIÓN DE LOS EQUIPOS

3.4.2.1.1 EQUIPOS DE FILMACIÓN

Antes de realizar la prueba de filmación se realizaron una serie de ensayos en el laboratorio y en el campo utilizando las dos cámaras de alta velocidad:

- Cargado de baterías durante 12 horas.
- Cargado de las películas en sus magazines y preparación de otras de repuesto en sus chasis partidos, para no tener que acudir a una cámara oscura interrumpiendo la prueba cuando se tuvieran que recargar.
- Conexión del cableado a baterías, entre cámaras y mando a distancia.
- Prueba de funcionamiento de los LEDs de tiempos y eventos.
- Prueba del sincronismo de las cámaras y del control remoto.
- Prueba del tiempo de aceleración de las cámaras con cronómetro (aproximado).

- Prueba de verificación de las lentes:
 - Se coloca un objeto a una cierta distancia de las cámaras.
 - Se pone una cinta translúcida en la parte posterior del objetivo.
 - Se enfoca la imagen desde el visor de la cámara y se comprueba que ésta queda también enfocada sobre la cinta, lo que indica que la lente réflex está perfectamente ajustada.
- Cálculo del gasto de película estimado el número de pruebas, la duración de las mismas y el tiempo de aceleración y equivalente de película.
- Ajuste del ASA de la película en la cámara.
- En el terreno se probó el arranque de las cámaras, el funcionamiento de los “timing” y del evento y se calculó el tiempo que necesitaban las cámaras para que estuviesen aceleradas para la toma de las dos zancadas necesarias. Este se halló considerando que, según las especificaciones técnicas de las cámaras, el tiempo de aceleración de 0 a 500 fotogramas por segundo es de 3” manteniendo una relación lineal a frecuencias menores. Se estimó en un tiempo superior de 0.9’ el necesario para lograrlo, considerando que la cámara esclava siempre sufre una cierta demora. Se midió la luz en el campo y la orientación del sol. Además, se hicieron algunas pruebas de filmación para la selección de la obturación.

3.4.2.1.2 TABLAS DE REGISTROS

Para el registro manual de las secuencias durante la competición, se creó una planilla en la que se anotaron los datos relativos a la filmación. En la planilla se registraron los siguientes campos:

- | | |
|--------------|---------------------------|
| ■ Filmación. | ■ Hora. |
| ■ Fecha. | ■ Tipo de película. |
| ■ Lugar. | ■ Velocidad de filmación. |

-
- Número de toma.
 - Nombre del deportista.
 - Dorsal.
 - Color de ropa.
 - Marca.
 - Condiciones de filmación.
 - Tipo cámara.
 - Incidencias en los registros

3.4.2.2 FRECUENCIAS DE MUESTREO

La frecuencia de filmación para la prueba se fijó en 100 fotogramas por segundo. No obstante, se realizaron unas pruebas previas para comprobar que la frecuencia de 100Hz era adecuada para el estudio. Para ello se filmó un movimiento en dos planos sagital y posterior a la máxima velocidad y se realizó un análisis de la Transformada de Fourier obteniendo un ancho de banda en el espectro de frecuencias comprendido entre 0 y 35Hz. Según estos datos, se filmó alrededor de tres veces por encima de la frecuencia máxima de la señal, lo cual es muy recomendable a tenor del teorema de Shanon y sobre la base de estudios previos (Ferro, 1996; 2001).

3.4.2.3 INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS EN EL CAMPO

La ubicación de las cámaras en el campo se estudió en cada prueba para que se filmaran planos cortos (uno lateral y otro posterior) en los que se visualizara perfectamente al deportista completo en el círculo de lanzamiento y se observara con nitidez el despegue del disco. Se ubicaron las cámaras en el mismo nivel que la ejecución de los lanzamientos. Se procuró que entre las dos cámaras se filmara el mayor número de marcadores del deportista. Hay que tener en cuenta que el ángulo ideal entre los ejes ópticos de las cámaras para la reconstrucción tridimensional se establece en 90°; aunque según Abdel – Aziz y Karara (1971). El cálculo de coordenadas tridimensionales, mediante el algoritmo de Transformación Lineal Directa (DLT), es suficientemente preciso cuando las cámaras están situadas formando un ángulo entre 60° y 120°, tomado éste desde el punto en que se cortan sus ejes focales.

Otro factor controlado es la proporción entre la distancia de la cámara al objeto de filmación y la distancia entre cámaras. Las cámaras se ubicaron respetando los valores óptimos referenciados en la literatura científica de 1:2, 1:3, 2:1 (Wood y Marshall, 1986; Challis y Kerwin, 1992).

El hecho de que se filme en competición obliga a asumir numerosos problemas que en última instancia condicionan la colocación de las cámaras, como pueden ser que estas no interfieran en el normal transcurso de la competición (pruebas, atletas, jueces, retransmisiones televisivas) o la situación de las cámaras respecto a la incidencia del sol u otros focos luminosos.

Ambas cámaras fijas durante toda la prueba fueron conectadas a sus baterías respectivas y entre sí para activar el sistema de sincronismo electrónico controlado por la cámara maestra. Al colocar los trípodes se marca en el suelo la situación de cada pata y del centro del trípode en el suelo por dos motivos; asegurarse que no se movían y facilitar su colocación al día siguiente, ya que la filmación de los concursos femeninos y masculinos se celebró en días distintos.

Posteriormente, se colocaron unos filtros naranjas *Kenko W12*, 55mm Ø y en cada prueba se midió la luz con el fotómetro para seleccionar el diafragma más adecuado de acuerdo a la escala EV, la sensibilidad de la película, el tipo de filtro de la cámara, la obturación deseada y la velocidad de filmación seleccionada. Durante la filmación de cada prueba se tomaron repetidamente medidas de luz y se fueron ajustando los diafragmas a medida que ésta cambiaba.

La película de cine utilizada fue un negativo de 16mm, marca *Kodak 7296 – 500 T* de 122m (400 pies) y doble perforación. Dichas películas fueron enhebradas previamente en sus magazines en una cámara oscura para evitar que se velasen.

El sistema de referencia modular se montó e instaló en el centro del círculo de lanzamiento con uno de los lados orientado al área de lanzamiento, antes y después de cada prueba para su filmación. Para asegurarse de que el sistema de referencia estaba centrado en el círculo, se toman las medidas de la distancia perpendicular existente desde cada apoyo del sistema de referencia al perímetro del círculo.

Antes de empezar la filmación se realizó una prueba para comprobar el correcto funcionamiento de las cámaras y del sistema de sincronismo, así como de la emisión de los LEDs y el control remoto de la cámara maestra.

3.4.2.4 DESARROLLO DE LA PRUEBA

La situación de las cámaras en cada prueba se presenta en la tabla 3.7.

Tabla 3.7. Posición de las cámaras en cada prueba.

		Cto. de España'95	Copa de Europa'96	Cto. de España'96	Cto de España'97	Cto. de España'98
Ángulo entre cámaras (°)		90	70	60	112	118
Distancia horizontal de las cámaras al círculo (m)	Cámara 1	15.40	16.32	17.40	18.23	24
	Cámara 2	15.78	18.93	20.20	19.34	31

Se filmó el sistema de referencia tridimensional junto con las referencias secundarias dos veces, cuidando de que no quedase ningún nudo oculto, y se volvió a filmar al final de la sesión por si en algún momento alguna de las cámaras se hubiese movido.

Se filmaron todos los lanzamientos de los atletas participantes en cada competición, tanto en la ronda de clasificación como en la fase de mejora, dado que los resultados finales no se conocían con antelación. El volumen total de filmaciones realizadas a lo largo de este trabajo fue de 576. El desglose de filmaciones se muestra en la tabla 3.8.

En cada secuencia filmada se cronometró el tiempo que transcurrió desde que se accionó la cámara hasta que el lanzador entró en la primera fase del lanzamiento, así mismo se comprobó que la secuencia que se iba a analizar estuviese registrada cuando la cámara hubo adquirido la velocidad constante seleccionada. El tiempo que debe transcurrir como mínimo son 3", si se le suma una duración aproximada del lanzamiento de 2", la duración de cada secuencia fue de 5". Durante el

desarrollo de las filmaciones se estableció un control para evitar que ninguna persona cruzara por el campo de filmación de las cámaras.

Tabla 3.8. Número total de filmaciones realizadas para este trabajo.

Competición	Masculino		Femenino	
	Sujetos	Lanzamientos	Sujetos	Lanzamientos
Campeonato de España '95	11	57	12	60
Copa de Europa '96	9	54	8	48
Campeonato de España '96	12	60	13	63
Campeonato de España '97	12	60	14	66
Campeonato de España '98	10	54	10	54
	Total	285	Total	291

3.4.3 MÉTODO DE TRATAMIENTO DE DATOS

Los registros filmográficos se trataron en el laboratorio siguiendo una serie de pautas que, en cada caso, se detallan a continuación y se presentan en la figura 3.1:

- Procesamiento de las películas.
- Obtención y tratamiento de datos:
 - Definición del modelo mecánico.
 - Creación del sistema de referencia.
 - Análisis de las escenas:
 - Calibración.
 - Digitalización de las películas.
 - Cálculo de las coordenadas 3D.
 - Suavizado de las trayectorias 3D.

- Cálculo de errores.

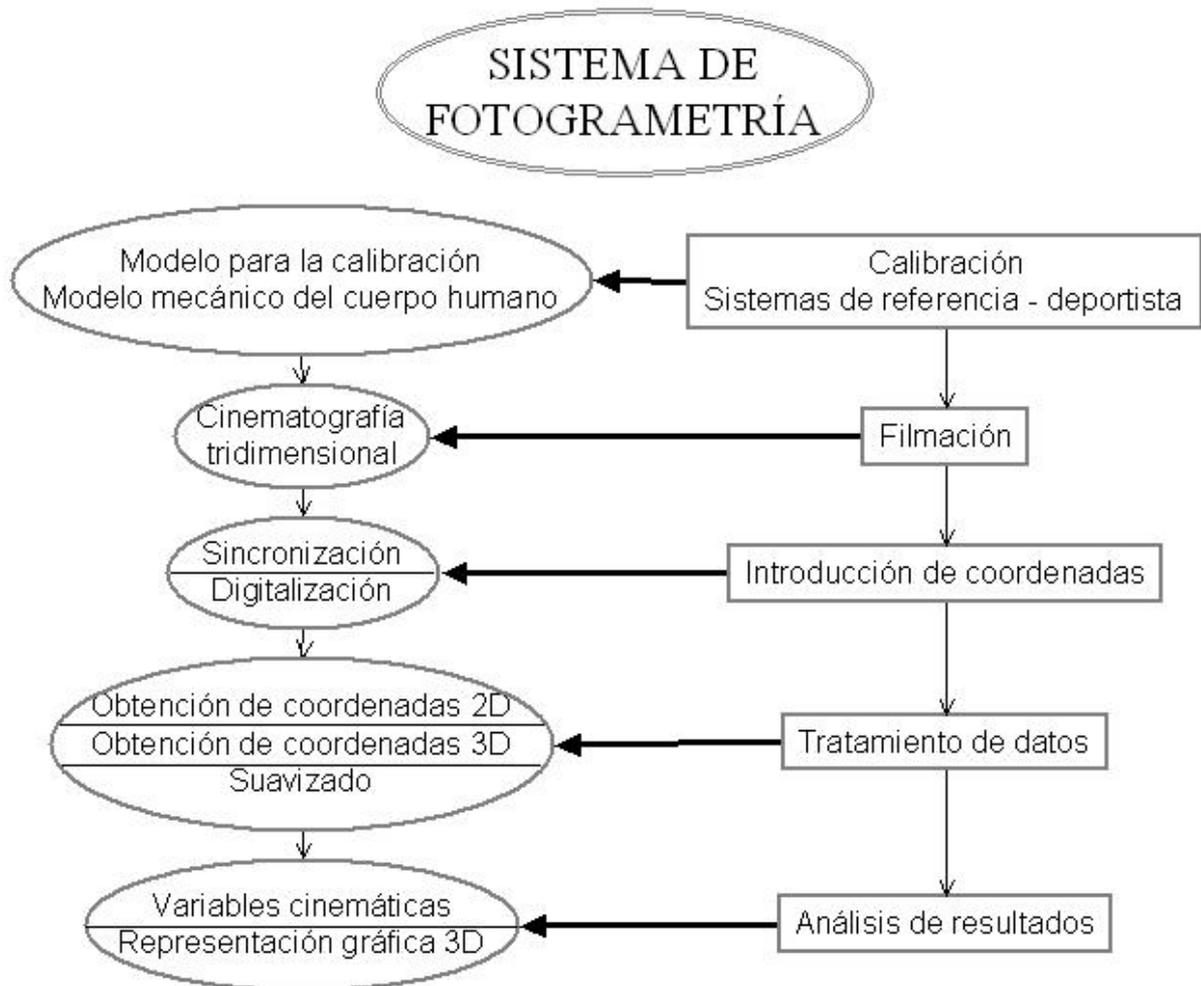


Figura 3.1. Esquema de las etapas del análisis de datos cinemáticos.

3.4.3.1 PROCESAMIENTO DE LAS PELÍCULAS

Las películas se extrajeron de sus magazines y se revelaron y positivarón en el Laboratorio Fotofilm Madrid, S.A. El revelado en algún caso tuvo que forzarse por problemas de luz, apareciendo un granulado en la imagen que dificultó la digitalización. El positivado de los negativos se hizo “a toda ventanilla” con objeto de que las marcas del evento no quedasen borradas del copión (Ferro, 1996).

El primer paso fue identificación y enumeración de las secuencias, de acuerdo con la tabla de control de registros cumplimentada durante la toma de datos. Este proceso

se llevó a cabo hace en dos moviolas lectoras de film cada una cargada con una película correspondiente a cada plano de filmación procediendo a la selección de la secuencia y numeración de los fotogramas de la misma. Mediante la marca de tiempos producida por el LED, se comprobó a partir de qué momento las cámaras habían adquirido el régimen de velocidad seleccionada, se seleccionó el lanzamiento y se enumeraron los fotogramas, tomando cinco fotogramas más en cada extremo de la secuencia para que los errores de cálculo de las primera y segunda derivada de las posiciones de los marcadores en los extremos no afecten al intervalo que se deseaba medir.

Después se sincronizaron los dos planos filmados localizando la marca del evento en el lado derecho de cada película, teniendo en cuenta que éste aparece siempre trece fotogramas después del momento de ser pulsado por el ordenador.

3.4.3.2 OBTENCIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Las películas se visualizaron mediante un proyector analizador ubicado en una mesa dotada de una pantalla en la que mediante un sistema de espejos se refleja la imagen en espacio reducido. Posteriormente se pasó la película fotograma a fotograma y se procedió en primer lugar a identificar las fases del lanzamiento, y en segundo lugar a digitalizar los puntos articulares del deportista mediante un digitalizador sónico. Este instrumento consta de un emisor de ultrasonido y un receptor de manera que en función del tiempo que tarda el sonido emitido por un cursor, posicionado en un punto de la pantalla, en llegar al receptor y conocida la velocidad del sonido, calcula la posición exacta del punto en el plano con un error de 0.1 mm.

Cada punto digitalizado representa una articulación o marcador, mientras que los segmentos móviles del cuerpo humano quedarán delimitados entre dos marcadores, construyendo de esta manera una imagen simplificada del deportista. El conocimiento de las posiciones de las articulaciones en el espacio a lo largo del tiempo, permite calcular las variables cinemáticas de posición y velocidad.

Mediante un ordenador y las rutinas del programa *Fotogram-IBV*, se procedió a realizar las etapas anteriormente descritas quedando los datos archivados para el

posterior tratamiento de los mismos. Cada una de éstas etapas, se describe a continuación:

3.4.3.2.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS FASES

Las fases definidas para el estudio del lanzamiento son (se describen las fases en referencia a un lanzador diestro):

- *Fase de Primer Apoyo Doble*: comprendida desde el instante en el que el disco cambia el sentido del giro al final de los balanceos previos hasta el instante que el atleta despega el pie derecho del suelo.
- *Fase de Primer Apoyo Simple*: comprendida desde el instante que el atleta despega del suelo el pie derecho hasta el instante en el que despega el pie izquierdo.
- *Fase de Vuelo*: comprendida desde el instante que el atleta despega el pie izquierdo hasta el instante en el que vuelve a apoyar el pie derecho.
- *Fase de Segundo Apoyo Simple*: comprendida desde el instante que el atleta apoya el pie derecho en el suelo hasta el instante en el que vuelve a apoyar el pie izquierdo.
- *Fase de Segundo Apoyo Doble*: comprendida desde que el atleta apoya el pie izquierdo hasta el instante que el disco deja la mano del lanzador.

Para cada fase hay que identificar los dos fotogramas que la delimitan. La secuencia de identificación de fotogramas se hace del siguiente modo:

- Primer fotograma en el que el disco, una vez alcanzado el punto más atrasado en los balanceos previos, cambia el sentido del giro (al contrario a las agujas del reloj desde una vista craneal).
- Último fotograma en el que el pie derecho está en contacto con el suelo.
- Último fotograma en el que el pie izquierdo está en contacto con el suelo.
- Primer fotograma en el que el pie derecho contacta con el suelo.

- Primer fotograma en el que el pie izquierdo contacta con el suelo.
- Último fotograma en el que el disco está en contacto con la mano.

Una vez localizados los fotogramas, las secuencias se numeran de cinco en cinco fotogramas empezando cuatro fotogramas antes del fotograma en el que el disco ha alcanzado el punto más atrasado después del balanceo previo y acabando cuatro fotogramas por detrás después del de salida del disco.

3.4.3.2.2 DEFINICIÓN DEL MODELO MECÁNICO

La definición del modelo mecánico se hizo seleccionando el más adecuado de entre los utilizados en biomecánica deportiva, tras el análisis de las ventajas e inconvenientes de los modelos antropométricos existentes, del tipo de movimiento que se iba a analizar y del que mejor se ajustaba a las características antropométricas de la muestra de sujetos a estudiar.

Los autores que han desarrollado modelos mecánicos se han basado, en su mayoría, en la utilización de modelos matemáticos o ecuaciones de regresión. Los primeros, simulando la morfología humana mediante la utilización de formas geométricas capaces de ser descritas matemáticamente, estiman los parámetros inerciales (Whitsett, 1963; Hanavan, 1964; Hazte, 1990; Yeadon, 1990; Jensen y Fletcher, 1994). Los segundos, mediante ecuaciones de regresión, aportan un método para calcular el centro de masas y el momento de inercia del cuerpo humano a partir del conocimiento de los valores de masa, longitudes de segmentos y momentos de inercia de las masas medidos de forma directa o indirecta. Estos valores fueron tomados de sujetos vivos (Drillis y Contini, 1966; Bernstein, 1967; McConville y cols. 1980; Zatsiorsky y Seluyanov, 1985; Leva, 1996) o cadáveres (Dempster, 1955; Clauser y cols. 1969; Chandler y cols. 1975).

Basándose en las pruebas realizadas por otros autores (Soto, 1994) y los estudios cinemáticos realizados desde 1992 en el laboratorio de Biomecánica Deportiva del *Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte* (Madrid) por Ferro (Ferro, 1996; 2001), se eligió el modelo mecánico planteado por Leva (1993;

1996). Dichos valores satisfacen las exigencias que requiere nuestro estudio en el sentido de valorar con rigor las variables cinemáticas que se decidió analizar.

En la tabla 3.9 quedan reflejados los segmentos y sus marcadores, con indicación de los valores de masa y localización del centro de masas parcial, seleccionados finalmente para el estudio, tal y como indica Leva (1996).

Tabla 3.9. Características antropométricas del modelo mecánico de Leva (1996).

Segmento	Punto Proximal	Punto Distal	Masa (%)	CDG _p (%)
Cabeza	Gonión medio	Vértex	6.94	40.27
Tronco	Supraexternal	Punto medio caderas	43.46	43.78
Brazo	Articulación hombro	Articulación codo	2.71	49.81
Antebrazo	Articulación codo	Articulación muñeca	1.62	45.15
Mano	Articulación mano	Articulación 3º metacarpiano	0.61	78.72
Muslo	Articulación cadera	Articulación rodilla	14.17	42.41
Pierna	Articulación rodilla	Articulación tobillo	4.33	45.54
Pie	Talón	Punta del pie	1.37	44.15

CDG_p: Centro de Gravedad Parcial.

La identificación correcta de los marcadores dentro del cuerpo humano es importante ya que serán los puntos que se tendrán que digitalizar. En el presente estudio se añadió un nuevo marcador en el centro del círculo, los marcadores fueron:

- (1) Vértex.
- (2) Cuello – mentón (gonión medio).
- (6 y 8) Hombros.
- (5 y 9) Codos.

- (4 y 10) Muñecas.
- (3 y 11) Articulación 3º dedo.
- (17, 18 y 19) Caderas y punto medio (auxiliar).
- (16 y 20) Rodillas.
- (15 y 21) Tobillos.
- (14 y 22) Talones.
- (12 y 24) Punta de los pies.
- (13 y 23) Metatarsiano.
- (7) Supraexternal.
- (25) Disco.

Las “conexiones” son las líneas que unirán los marcadores en la representación gráfica. No tienen que ir asociadas a masas ni a distancias, puesto que se definen sólo para poder visualizar el modelo digitalizado con el estilo deseado. Se han definido, en este caso, las siguientes 16 conexiones que en se muestran en la figura 3.2:

- Cabeza.
- Tronco.
- Brazos.
- Antebrazos.
- Manos.
- Muslos.
- Piernas.
- Retropié.

- Antepié.

En la figura 3.2 se representa el modelo del cuerpo humano con los marcadores y los segmentos.

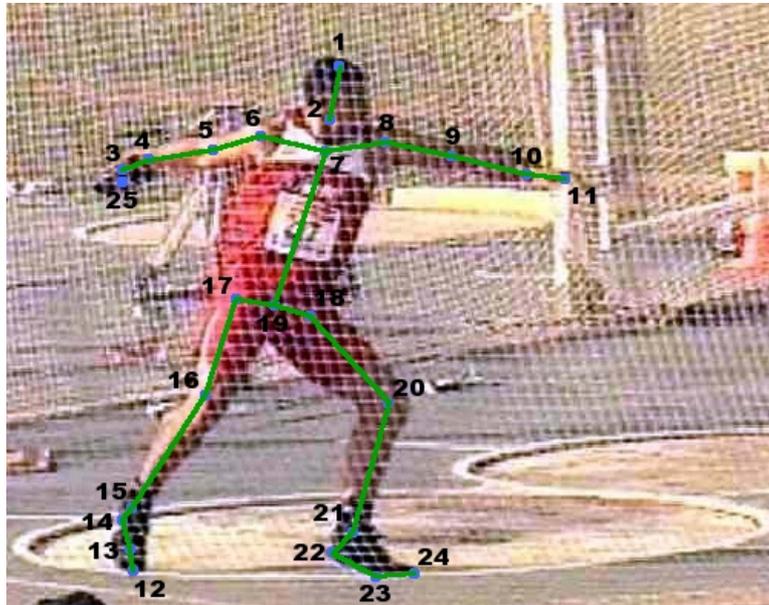


Figura 3.2. Marcadores y segmentos del modelo seleccionado para el estudio.

El modelo seleccionado tiene una serie de restricciones que es necesario considerar.

La primera es que suponemos que los segmentos corporales son rígidos y no se deforman. Esta afirmación se basa en que la energía debida a las deformaciones del segmento es despreciable frente a la energía cinética del movimiento. Este supuesto no es una de las mayores limitaciones que impone el modelo, dado que las longitudes de los segmentos de la cabeza o segmentos largos, como muslo, pierna, brazo, antebrazo, no se deforman; y el pie, que sí lo hace en el lanzamiento de disco, se ha considerado como una masa con dos segmentos retropié y antepié, cada uno de los cuales no sufre tampoco grandes deformaciones si las comparamos con las grandes velocidades que se generan.

La segunda, se refiere al tronco que, si bien en ciertos movimientos, como los gimnásticos, estaría sometido a movimientos de flexo – extensión e inflexión lateral. En el lanzamiento de disco se ha comprobado que existen rotaciones contrapuestas de línea de hombros – línea de caderas. Sin embargo, se pueden considerar que

estas rotaciones en el eje longitudinal no modifican la longitud del segmento y, por tanto, podría considerarse como un único sólido rígido.

La tercera restricción se refiere a la localización de los centros articulares. Es obvio que a escala articular se producen movimientos de rotación y traslación de las superficies articulares y que la posición del centro instantáneo de rotación se modifica al variar el ángulo articular (Hainaut, 1976; Kapandji, 1990), por lo que parecería un error asumir un único punto de rotación a la hora de digitalizar. Sin embargo, la precisión de los sistemas de fotogrametría, tanto de cine como de vídeo, no permiten apreciar milimétricamente la localización del punto articular dado que, por un lado, las filmaciones tienen una determinada precisión y, por otro, la digitalización de los puntos por el operador introduce un error aleatorio mucho mayor que el que se pueda cometer digitalizando la posición exacta del centro instantáneo de rotación.

3.4.3.2.3 CREACIÓN DE UN SISTEMA DE REFERENCIA

La determinación de un sistema de referencia de calibración permitió la localización de los marcadores de las secuencias filmadas. El sistema de referencia utilizado fue un cubo de 2m^3 formado por 12 barras rígidas de aluminio y 8 nudos que sirvieron de unión. A cada nudo se le asignó una coordenada x , y , z en el espacio. El sistema fue por tanto tridimensional y estuvo definido por los ejes X (antero-posterior), Y (medio-lateral), y Z (vertical). Teniendo en cuenta que, normalmente conviene que la evolución del movimiento se produzca en el sentido de las x positivas para su cómoda interpretación. El sistema de referencia se situó con el hipotético eje X , paralelo a la dirección de lanzamiento en la que transcurrió el movimiento y el origen del sistema en el lugar de inicio del movimiento.

3.4.3.2.4 ANÁLISIS DE LAS SECUENCIAS

Para realizar el análisis de las secuencias, se proyectaron las películas identificadas y numeradas mediante el proyector – analizador que permite visualizar la película fotograma a fotograma en la pantalla de la mesa de digitalización. Se conecta el digitalizador sónico y se procedió a la digitalización del sistema de referencia y de

las secuencias. Es aconsejable que mientras se está digitalizando una secuencia en un plano, simultáneamente se proyecte el otro plano de filmación en una moviola para obtener una referencia de los puntos que puedan quedar ocultos.

a) CALIBRACIÓN DEL SISTEMA DE REFERENCIA

Se digitalizó el sistema de referencia en cada plano a partir de las filmaciones sagital y posterior. Los datos obtenidos de este proceso servirán posteriormente para calibrar el espacio en el que transcurrirá el movimiento.

Según Challis y Kervin (1992) es importante que los puntos que se escojan para la calibración rodeen el espacio en el que se desarrolle el movimiento, no siendo tan importantes para la calibración los puntos interiores contenidos en el sistema. Conociendo como mínimo seis coordenadas x , y , z del espacio que rodea al movimiento y sus proyecciones en el plano u , v se puede relacionar linealmente las tres coordenadas espaciales y las dos planas mediante un algoritmo denominado de la Transformación Lineal Directa (DLT) que se presentará posteriormente.

b) DIGITALIZACIÓN DE LAS PELÍCULAS

Una vez calibrado el espacio se procedió a la digitalización de las secuencias seleccionadas. El proceso de digitalización se limitó a las dos últimas fases del gesto (Fases IV y V), por lo que el primer fotograma que se digitalizó en cada lanzamiento correspondió al quinto fotograma anterior al apoyo del pie después de la *Fase de Vuelo* y el último fotograma digitalizado correspondió al último donde se veía el disco antes de salirse fuera del encuadre de la cámara.

Autores como Winter (1990) estiman que el tiempo empleado en digitalizar una secuencia de tres segundos de duración, filmada a 50 fotogramas / segundo, digitalizando 5 marcadores, puede completarse en 50 minutos. Los marcadores perfectamente visibles pueden ser fácilmente digitalizables, pero si están ocultos se requiere mucho más tiempo. Normalmente es necesario visualizar varias veces la secuencia y hacer un seguimiento del punto oculto con mucha precaución a la vez que se ha de ir visualizando simultáneamente el otro plano filmado en la moviola,

según se indicó con anterioridad. El tiempo medio empleado en digitalizar una secuencia de lanzamiento de disco de unos 60 fotogramas, de 25 marcadores cada uno, en un solo plano llevó un tiempo aproximado de 150 minutos; es decir, alrededor de 8 – 10 marcadores / minuto, en las secuencias más claras en las que no se tuvo que forzar el revelado. Como de cada lanzamiento se filmaron dos planos, consecuentemente era necesario el doble de tiempo para concluir la digitalización de un lanzamiento completo.

Una vez digitalizada la secuencia completa en cada plano y antes de pasar a calcular las coordenadas 3D de los marcadores, es conveniente visualizar la trayectoria de cada uno de los marcadores gráficamente. Si se observa que algún punto de la gráfica se desvía en exceso de su trayectoria conviene corregirlo volviendo a digitalizarlo para no arrastrar errores en la etapa siguiente de obtención de coordenadas 3D.

c) CALCULO DE COORDENADAS TRIDIMENSIONALES

Seguidamente, se pasó el cálculo de las coordenadas tridimensionales a partir de las coordenadas planas de las dos secuencias sincronizadas y filmadas en dos planos distintos. Esta etapa se realizó utilizando el algoritmo de *Transformación Lineal Directa* (DLT) descrito por Abdel – Aziz y Karara (1971).

El método de la DLT se utiliza para graduar cámaras y posteriormente reconstruir los puntos obtenidos con dos o más cámaras en un espacio tridimensional. Los parámetros internos asociados a las cámaras, proyector, plano de proyección y orientación de las cámaras son representados por 11 coeficientes que relacionan las coordenadas tridimensionales en el espacio con las coordenadas planas bidimensionales proyectadas mediante la siguiente ecuación:

$$u + du = \frac{L1x + L2y + L3z + L4}{L5x + L6y + L7z + 1}$$

$$v + dv = \frac{L8x + L9y + L10z + L11}{L5x + L6y + L7z + 1}$$

donde (Chen y cols. 1994):

- u y v , son las coordenadas planas de las imágenes
- du y dv , es la corrección introducida en las coordenadas debidas a la distorsión de las lentes
- x , y , z , son las coordenadas de los puntos del objeto mientras que las constantes son $L1$ a $L11$, son los parámetros de la DLT, que definen la posición de las cámaras y la orientación, los parámetros internos de las cámaras y los factores lineales de la distorsión de las lentes

Los once parámetros pueden ser calculados a partir de los datos de las coordenadas espaciales de los puntos de referencia y de sus coordenadas planas medidas con el digitalizador. Los datos correspondientes a seis de estos puntos proporcionan 12 ecuaciones, suficientes para hallar los valores de los 11 parámetros. Un mayor número de puntos proporciona más ecuaciones que, resueltas por el método de los mínimos cuadrados, permite llegar a una solución menos sensible a los errores para los 11 parámetros. Cuantos más puntos en el espacio se tomen y mejor distribuidos se hallen en éste, mayor será la precisión. En un trabajo de Wood y Marshall (1986) y analizado por Tortosa (1987), se estudió la precisión del método de la DLT incrementando el número de puntos del sistema y variando la distribución de éstos en el espacio, llegando a las siguientes conclusiones:

- Con siete puntos control no se obtuvieron resultados significativamente diferentes a los encontrados con más puntos
- La concentración de 11 puntos en el centro del espacio producía un error del orden del 50 – 100 % mayor que si éstos se encontrasen distribuidos por todo el espacio en el que transcurrió el movimiento
- Fuera del espacio calibrado, se encontró una gran imprecisión en los resultados, llegando a la conclusión de que son preferibles pocos puntos de control

distribuidos por todo el espacio que muchos concentrados en un área reducida y posteriormente tener que extrapolar

En resumen, las ventajas que presenta el método expuesto frente a otros utilizados (Barton y Barton, 1992; Challis y Kerwin, 1992) son las siguientes:

- Los objetos ópticos de las cámaras no necesitan cruzarse
- Las posiciones de las cámaras pueden ser arbitrarias y no necesitan ser medidas
- Sólo se requieren dos imágenes de los objetos
- Se pueden adaptar cámaras adicionales

Las dos únicas restricciones del método residen en que los puntos que vayan a ser utilizados para la calibración han de ocupar todo el espacio en el que se desarrolle el movimiento (Wood y Marshall, 1986; Challis y Kerwin, 1992), aspecto que cumple el sistema de referencia usado para este estudio, y que las cámaras han de quedar fijas durante toda la prueba.

Los coeficientes de calibración son específicos de las cámaras, siendo necesario para determinarlos tener, al menos, $n = 6$ puntos de control en el campo de visión de las mismas (Challis, 1995), lo que nos proporcionará un sistema de $2n$ ecuaciones. La utilización de un número mayor de puntos permite minimizar errores, asegurando una mayor precisión en la reconstrucción de los puntos 3D. De esta manera, también los errores aleatorios producidos por el proceso de digitalización y los errores sistemáticos, producidos por la distorsión de las lentes, du y dv , se podrían minimizar a partir de la utilización de un número superior a seis puntos.

Una vez calculados los parámetros de la DLT se vuelven a utilizar las ecuaciones para calcular las coordenadas tridimensionales de todos los marcadores. El sistema sobredimensionado de $2n$ ecuaciones (siendo n el número de cámaras) y tres incógnitas, se resuelve mediante el método iterativo de mínimos cuadrados que permite calcular las coordenadas tridimensionales (x, y, z) y minimiza el error aleatorio. Challis y Kerwin (1992) encontraron un error menor de 3mm en un volumen de 0.6 m^3 .

d) CÁLCULO DE ERRORES

Los errores en la medida que se pueden cometer utilizando técnicas de fotogrametría son, según Hatze (1990), de dos tipos: los errores sistemáticos y los aleatorios.

Los errores sistemáticos son debidos al proceso de filmación, a las distorsiones electro – ópticas, a la vibración de las cámaras durante la filmación, al movimiento de las marcas colocadas sobre la piel con respecto a su eje articular, etc. Estos errores son difícilmente cuantificables y podrían subsanarse, en parte, controlando al máximo las condiciones de la filmación y el diseño de las experiencias.

Los errores aleatorios son producidos por la manipulación de los datos, a través del proceso de digitalización de los marcadores del modelo. Para subsanar este error, se procedió primero a estimarlo, para poder tenerlo en cuenta en los cálculos.

Para el cálculo del error sistemático (sesgo) y el aleatorio se digitalizó los 8 marcadores del sistema de referencia 15 veces. Así mismo, se calculó el error típico de la media y el error de la muestra correspondiente a los niveles de confianza del 95 y 99 %, según el método propuesto por Ferro (1996).

ERROR SISTEMÁTICO (SESGO)

Es la diferencia entre los valores digitalizados y los valores reales del sistema de referencia:

$$E.S. = \sqrt{\frac{(D_i - R_i)^2}{n - 1}}$$

Donde,

D_i , es el valor digitalizado,

R_i , es el valor de la coordenada del sistema de referencia,

n , el número de mediciones.

Este cálculo se aplicó a cada una de las tres coordenadas de cada uno de los ocho marcadores.

ERROR ALEATORIO

Es la diferencia entre las distintas mediciones del mismo marcador y el valor promedio de dichas mediciones.

$$E.A. = \sqrt{\frac{(D_i - \bar{D})^2}{n - 1}}$$

Donde,

D_i , es el valor digitalizado,

\bar{D} , es la media aritmética de los valores digitalizados,

n , es el número de mediciones.

ERROR TÍPICO DE LA MEDIA

$$E.T. = \frac{E.A.}{\sqrt{n}}$$

Los resultados de todos estos cálculos se presentan en las tablas 3.10, 3.11 y 3.12.

Tabla 3.10. Errores globales respecto del valor de referencia (sesgo).

	X	Y	Z	MÁXIMO
ERROR MEDIO ABSOLUTO TOTAL	0.0051	0.0102	0.0033	0.0102
DESVIACIÓN TÍPICA	0.0046	0.0044	0.0025	
ERROR CUADRÁTICO MEDIO	0.0000	0.0001	0.0000	0.0003
ERROR CUADRÁTICO MEDIO ^{1/2}	0.0067	0.0110	0.0040	0.0110

Tabla 3.11. Errores aleatorios totales.

	X	Y	Z	MÁXIMO
DESVIACIÓN TÍPICA	0.0216	0.0314	0.0093	0.0314

Tabla 3.12. Errores globales respecto de la media de las mediciones (error aleatorio).

	X	Y	Z
DESVIACIÓN MEDIA	0.0271	0.0294	0.0107
DESVIACIÓN TÍPICA	0.0207	0.0258	0.0124
VARIANZA	0.0004	0.0007	0.0002

ERROR EN EL CÁLCULO DE LA POSICIÓN

Este error se calcula tomando un marcador del modelo del cuerpo humano durante un intervalo de tiempo en que se sepa que permanece inmóvil y se calcula la diferencia en las coordenadas experimentado en el transcurso de ese período.

El cálculo se hizo sobre el marcador “metatarsiano” en la fase de apoyo, en que no pierde el contacto con el suelo y actúa como punto de apoyo respecto al que gira el cuerpo. El resultado fue de un error de 1 cm.

ERRORES EN EL CÁLCULO DE LA VELOCIDAD LINEAL

En ese mismo intervalo de tiempo se calcula la velocidad del marcador que se supone que tendría que dar un valor nulo. El error estimado fue de 0.1m/s.

3.4.3.2.5 SUAVIZADO DE LAS TRAYECTORIAS

Una vez digitalizadas las imágenes obtenemos una serie de datos discretos (coordenadas), para poder derivar esos datos y obtener velocidades y aceleraciones es preciso ajustar las trayectorias de esas coordenadas a una función continua de los datos, que además suavice los errores derivados de la digitalización.

El suavizado de las trayectorias tridimensionales de los marcadores se hizo siguiendo el método denominado “*Generalized Cross – Validation*” (Woltring, 1985, 1986, 1995) y utilizando splines de 5º orden.

Para iniciar el proceso se necesita una matriz de pesos que contuvo las desviaciones típicas de las coordenadas x, y, z de cada punto que se digitalizó.

Es importante suavizar los datos porque aunque el ruido no sea apreciable en los datos de posición, hay una amplificación de éste en el proceso de diferenciación (obtención de las derivadas temporales).

3.4.4 GENERACIÓN DE RESULTADOS

Una vez identificadas las variables biomecánicas a estudiar se procedió a su cálculo en la muestra seleccionada con el objetivo de generar resultados.

Para facilitar el tratamiento y generación de resultados de todos los lanzamientos en conjunto se diseñó una base de datos con el programa *Microsoft Access*. A esta base de datos se la bautizó con el nombre de *Sistema de Información Biomecánica (SIB)*. *SIB* se estructuró en diferentes tablas vinculadas que contenían información referente al deportista, al tipo de análisis biomecánico realizado, a los datos que hacen referencia a las fases del movimiento, a los datos que hacen referencia a los instantes del movimiento, etc.

La exportación de la matriz de datos del programa *Fotogram-IBV* a la base de datos *SIB* se realizó por medio de una hoja de cálculo diseñada para este propósito en *Microsoft Excel* con la ayuda del editor de *Visual Basic*. A esta plantilla de exportación se la denominó *SIBDisco*. El objetivo principal de *SIBDisco* era preparar los datos provenientes de *Fotogram-IBV* para que estos pudiesen ser importados de forma correcta desde *SIB*. En *SIBDisco* a parte de almacenar la matriz de datos se guarda información relevante del lanzamiento como: datos del deportista, fecha del lanzamiento, distancia de lanzamiento y duración de las fases.

Ordenados y almacenados todos los datos de los lanzamientos analizados, se diseñaron en *MatLab* rutinas de cálculo para las variables definidas en el *Cuadro de Indicadores de Eficacia*. A esta rutina de cálculo que contiene los algoritmos de cada

variable biomecánica se le denominó *BioDisc*. Por medio de consultas en *SIB* se seleccionaban, en un orden preestablecido, los datos necesarios para que las funciones calculasen las variables biomecánicas. Estos datos se exportaron a *BioDisc*, los algoritmos calculaban los resultados de las nuevas variables biomecánicas y estos eran importados desde *SIB* para su almacenamiento en el orden adecuado.

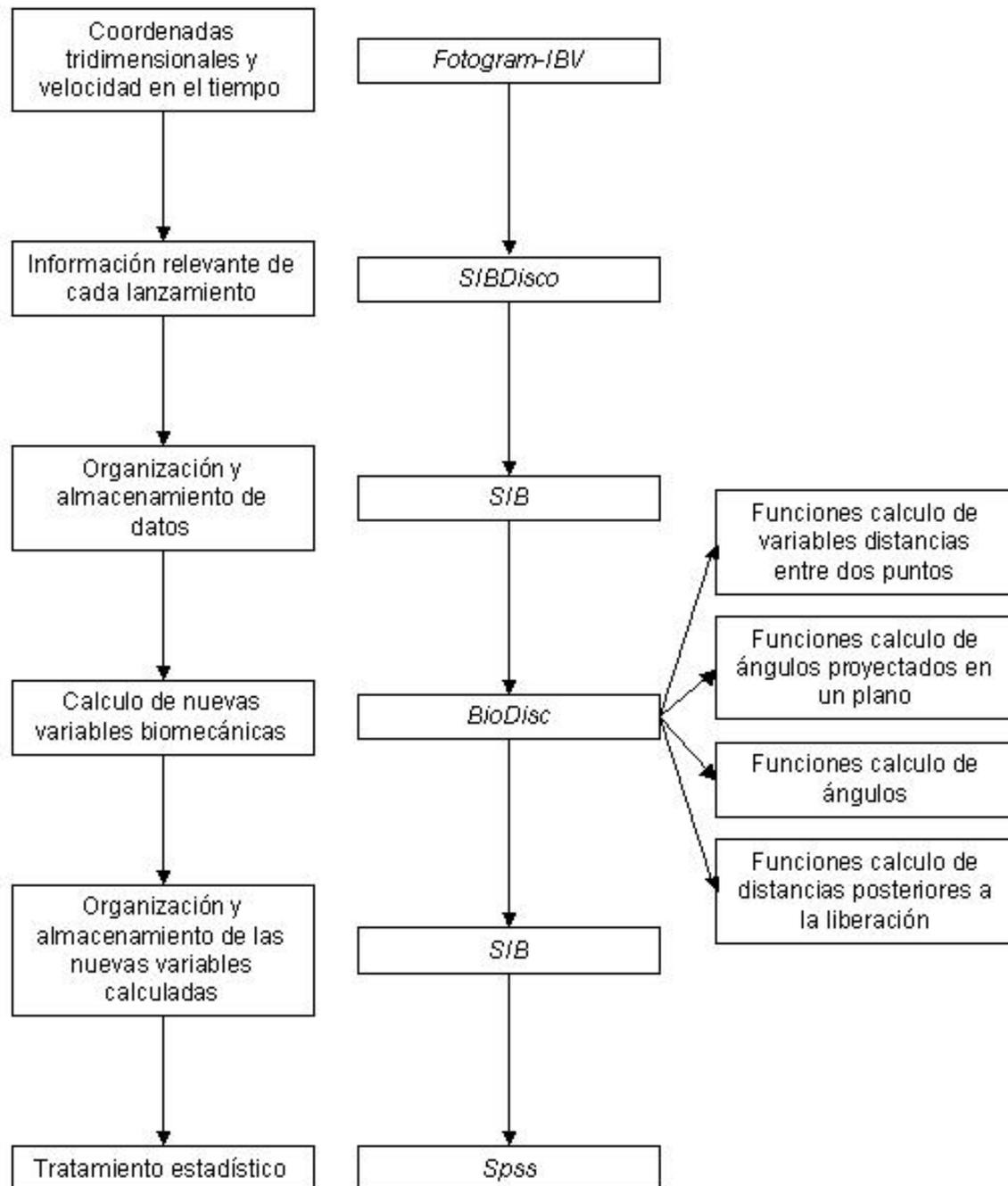


Figura 3.3. Generación de resultados.

En total se calcularon 81 variables cinemáticas que se organizaron en variables previas y posteriores a la liberación del disco. Las variables previas a la liberación fueron 11 temporales, 54 espaciales y 11 espacio – temporales. Las variables posteriores a la liberación fueron en total 5 y todas fueron espaciales.

3.4.4.1 VARIABLES PREVIAS A LA LIBERACIÓN

3.4.4.1.1 VARIABLES TEMPORALES

a) DE FASE

- Duración de la fase:
 - **T_PAD**: Tiempo de la *Fase de Primer Apoyo Doble*. Intervalo de tiempo comprendido entre el primer fotograma en el que el disco alcanza su posición más retrasada, y el primer fotograma en el que el primer pie pierde contacto con el suelo.
 - **T_PAS**: Tiempo de la *Fase de Primer Apoyo Simple*. Intervalo de tiempo comprendido entre el primer fotograma en el que sólo hay un pie apoyado en el suelo, y el primer fotograma en el que el último pie de apoyo pierde contacto con el suelo.
 - **T_VUELO**: Tiempo de la *Fase de Vuelo*. Intervalo de tiempo comprendido entre el primer fotograma en el que el último pie de apoyo pierde contacto con el suelo, y el primer fotograma en el que el primer pie se apoya en el suelo.
 - **T_SAS**: Tiempo de la *Fase de Segundo Apoyo Simple*. Intervalo de tiempo comprendido entre el primer fotograma en el que apoya el primer pie después de la fase de vuelo, y el primer fotograma en el que apoya los dos pies en el suelo.
 - **T_SAD**: Tiempo de la *Fase de Segundo Apoyo Doble*. Intervalo de tiempo comprendido entre el primer fotograma en el que apoya ambos pies, y el primer fotograma en el que el disco abandona la mano del lanzador.

- Intervalo de tiempo entre los diferentes instante de máxima torsión y el inicio de la *Fase de Segundo Apoyo Doble*:
 - **$\Delta t_{\theta_CAD_PIES_MAX-API}$** : Intervalo de tiempo entre el instante en el que se produce el ángulo de máxima torsión entre el eje de caderas y la línea de pies y el apoyo del pie izquierdo.
 - **$\Delta t_{\theta_HOMB_PIES_MAX-API}$** : Intervalo de tiempo entre el instante en el que se produce el ángulo de máxima torsión entre el eje de hombros y la línea de pies y el apoyo del pie izquierdo.
 - **$\Delta t_{\theta_BRAZO_PIES_MAX-API}$** : Intervalo de tiempo entre el instante en el que se produce el ángulo de máxima torsión entre la línea del miembro superior ejecutor y la línea de pies y el apoyo del pie izquierdo.
 - **$\Delta t_{\theta_HOMB_CAD_MAX-API}$** : Intervalo de tiempo entre el instante en el que se produce el ángulo de máxima torsión entre el eje de hombros y el eje de caderas y el apoyo del pie izquierdo.
 - **$\Delta t_{\theta_BRAZO_CAD_MAX-API}$** : Intervalo de tiempo entre el instante en el que se produce el ángulo de máxima torsión entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de caderas y el apoyo del pie izquierdo.
 - **$\Delta t_{\theta_BRAZO_HOMB_MAX-API}$** : Intervalo de tiempo entre el instante en el que se produce el ángulo de máxima torsión entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de hombros y el apoyo del pie izquierdo.

3.4.4.1.2 VARIABLES ESPACIALES LINEALES

a) DE FASE

- Representación gráfica de las coordenadas (x, y) del disco a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble*.
- Representación gráfica de las coordenadas (x, z) del disco a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble*.

- Representación gráfica de la coordenada z del disco respecto al tiempo a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble*.
- h_{Disco} : Altura del disco a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble*.

b) DE POSICIÓN

- $d_{h_META_{d(APD)}-CC}$: Distancia horizontal medida desde el marcador metatarso del pie de apoyo hasta el centro del círculo en el inicio de la *Fase de Segundo Apoyo Doble* (figura 3.4).

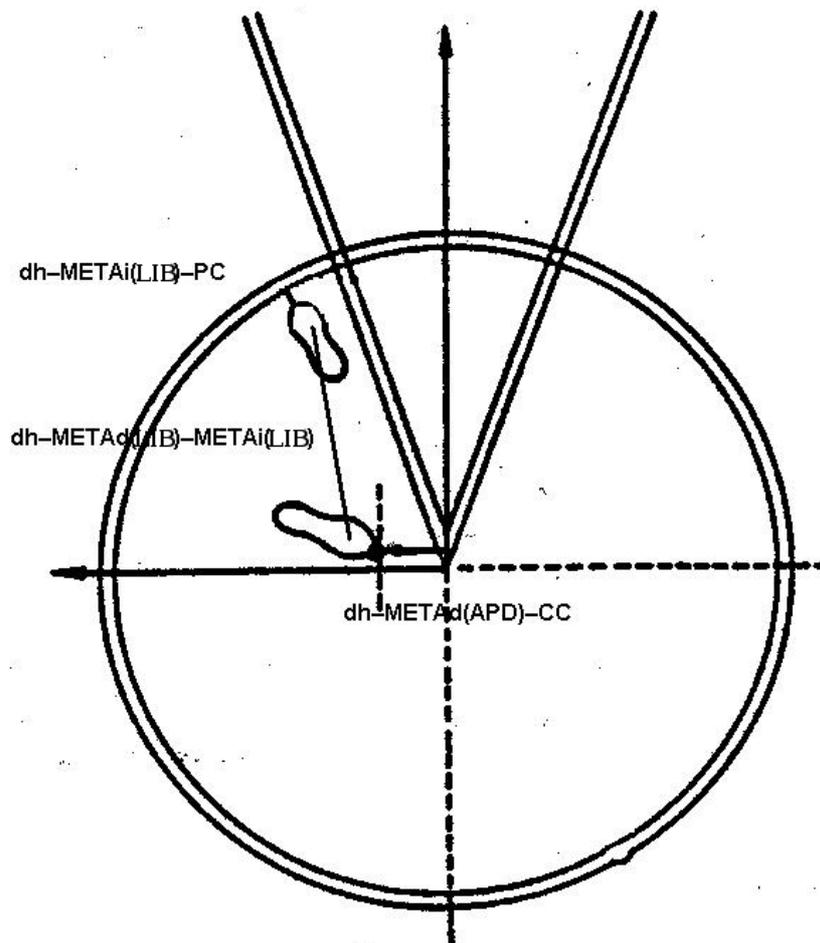


Figura 3.4. Variables medidas en relación a la posición de los pies (Modificado de Hay y Yu, 1996).

- $d_{h_META_{i(lib)}-PC}$: Distancia horizontal medida desde el marcador metatarso izquierdo al perímetro del círculo de lanzamiento en el instante de liberación del disco (figura 3.4).
- $d_{h_META_{d(lib)}-META_{i(lib)}}$: Distancia horizontal medida desde el marcador metatarso derecho al punto articular metatarso izquierdo en el instante de liberación del disco (figura 3.4).
- Altura del disco:
 - $h_{DISCOmax(SAS)}$: Altura máxima alcanzada por el disco en la *Fase de Segundo Apoyo Simple* medida desde el suelo (figura 3.5).

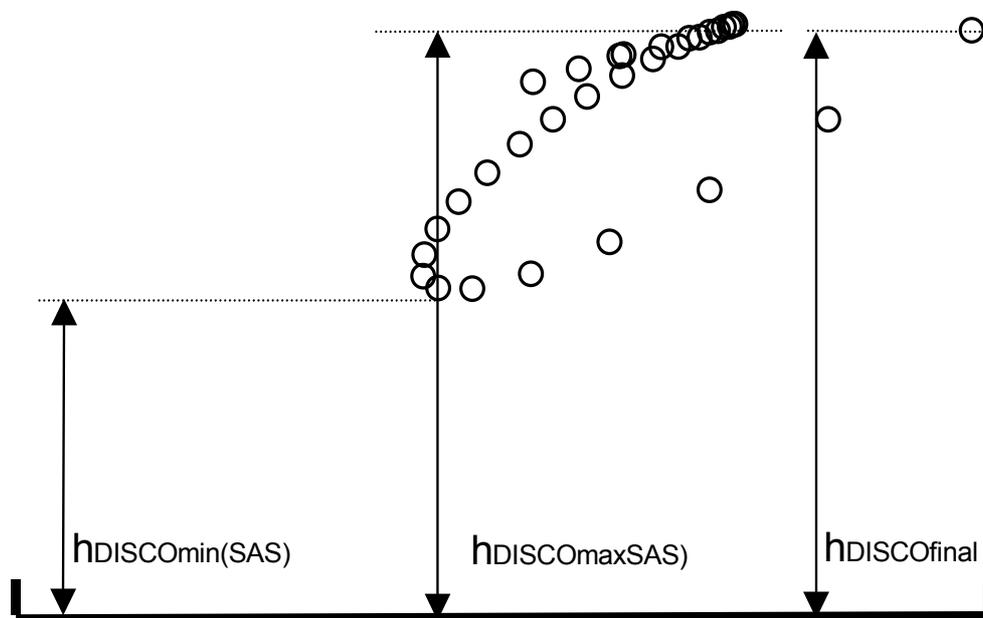


Figura 3.5. Variables medidas en relación a la altura del disco.

- $h_{DISCOmin(SAD)}$: Altura mínima alcanzada por el disco en la *Fase de Segundo Apoyo Doble* medida desde el suelo (figura 3.5).
- $h_{DISCOlib}$: Altura del disco en el instante de liberación medida desde el suelo (figura 3.5).
- $\Delta_{h_{DISCOmin(SAD)}-h_{DISCOlib}}$: Diferencia de altura entre los instantes de mínimo valor en la *Fase de Segundo Apoyo Doble* y el instante de liberación.

3.4.4.1.3 VARIABLES ESPACIALES ANGULARES

a) DE FASE

- **θ_{CAD_PIES}** : Ángulo entre el eje de caderas y la línea de pies a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble*: Posición angular proyectada sobre el plano horizontal del eje de caderas en relación a la línea de pies. El eje de caderas es un vector cuya dirección y sentido está definido por la recta que pasa a través del marcador cadera del lado libre hacia el marcador cadera del lado ejecutor. La línea de pies es un vector cuya dirección y sentido está definido por la recta que pasa a través del marcador metatarso del lado libre hacia el marcador metatarso del lado ejecutor. El plano horizontal está definido por los ejes X e Y (figura 3.6).

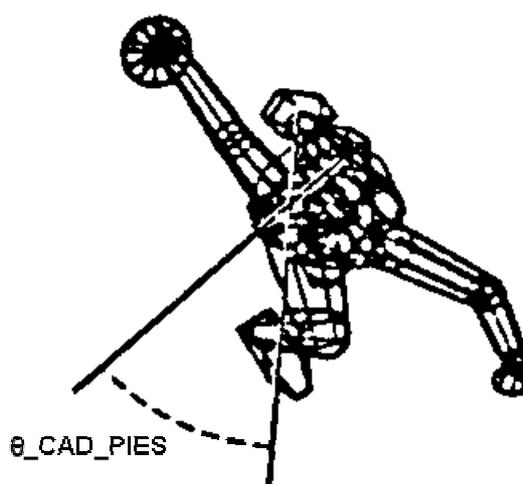


Figura 3.6. Ángulo entre el eje de caderas y la línea de pies (Modificado de Dapena y Anderst, 1997).

- **θ_{HOMB_PIES}** : Ángulo entre el eje de hombros y la línea de pies a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble*: Posición angular proyectada sobre el plano horizontal del eje de hombros en relación a la línea de pies. El eje de hombros es un vector cuya dirección y sentido está definido por la recta que pasa a través del marcador hombro del lado libre hacia el marcador hombro del lado ejecutor. La línea de pies es un vector cuya dirección y sentido está definido por la recta que pasa a través del marcador metatarso del lado

libre hacia el marcador metatarso del lado ejecutor. El plano horizontal está definido por los ejes X e Y (figura 3.7).

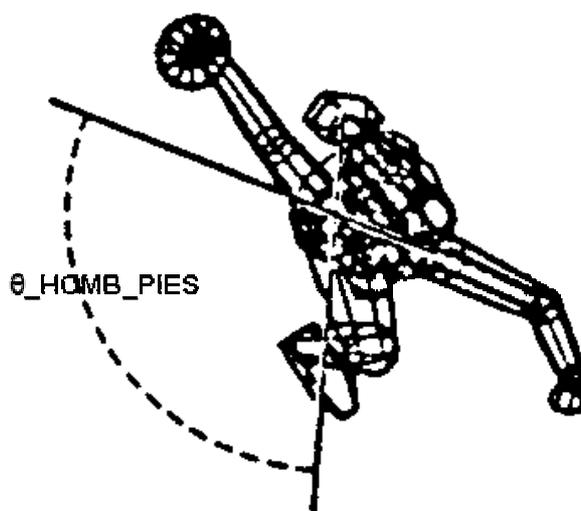


Figura 3.7. Ángulo entre el eje de hombros y la línea de pies (Modificado de Dapena y Anderst, 1997).

- **θ_{BRAZO_PIES} :** Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y la línea de pies a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble*: Posición angular proyectada sobre el plano horizontal de la línea del miembro superior ejecutor en relación a la línea de pies. La línea del miembro superior ejecutor es un vector cuya dirección y sentido está definido por la recta que pasa a través del marcador hombro del lado ejecutor hacia el marcador disco. La línea de pies es un vector cuya dirección y sentido está definido por la recta que pasa a través del marcador metatarso del lado libre hacia el marcador metatarso del lado ejecutor. El plano horizontal está definido por los ejes X e Y (figura 3.8).

- **θ_{HOMB_CAD} :** Ángulo entre el eje de hombros y el eje de caderas a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble*: Posición angular proyectada sobre el plano horizontal del eje de hombros en relación al eje de caderas. El eje de hombros es un vector cuya dirección y sentido está definido por la recta que pasa a través del marcador hombro del lado libre hacia el marcador hombro del lado ejecutor. El eje de caderas es un vector cuya dirección y sentido está definido por la recta que pasa a través del marcador

cadera del lado libre hacia el marcador cadera del lado ejecutor. El plano horizontal está definido por los ejes X e Y (figura 3.9).

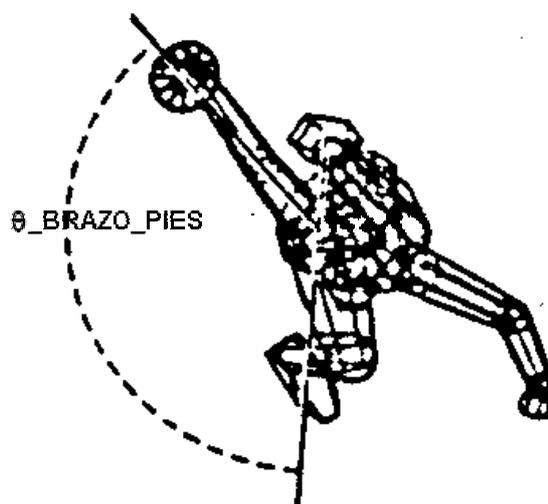


Figura 3.8. Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y la línea de pies (Modificado de Dapena y Anderst, 1997).

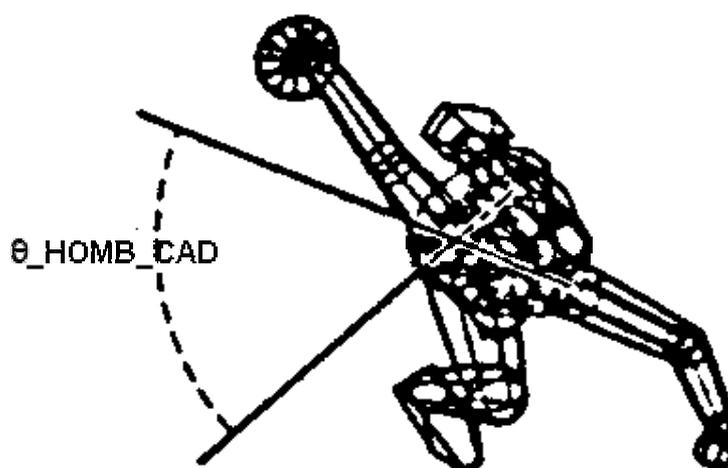


Figura 3.9. Ángulo entre el eje de hombros y el eje de caderas (Modificado de Dapena y Anderst, 1997).

- **$\theta_{\text{BRAZO_CAD}}$:** Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de caderas a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble*: Posición angular proyectada sobre el plano horizontal de la línea del miembro superior ejecutor en relación al eje de caderas. La línea del miembro superior ejecutor es un vector cuya dirección y sentido está definido por la recta

que pasa a través del marcador hombro del lado ejecutor hacia el marcador disco. El eje de caderas es un vector cuya dirección y sentido está definido por la recta que pasa a través del marcador cadera del lado libre hacia el marcador cadera del lado ejecutor. El plano horizontal está definido por los ejes X e Y (figura 3.10).

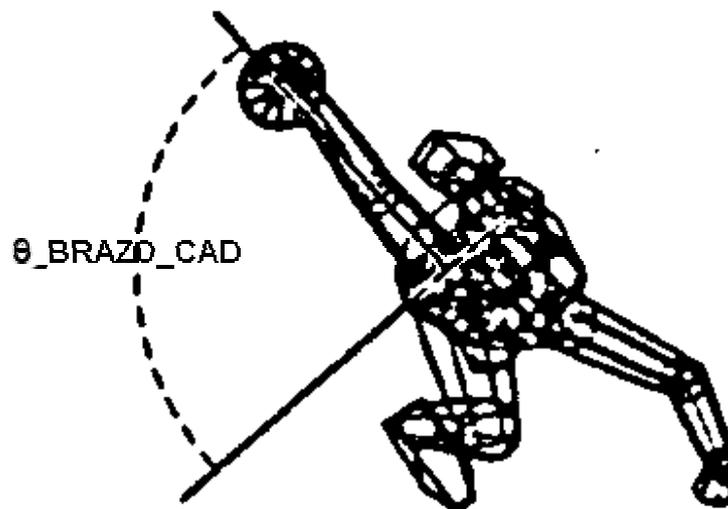


Figura 3.10. Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de caderas (Modificado de Dapena y Anderst, 1997).

- **θ_{BRAZO_HOMB} :** Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de hombros a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble*: Posición angular proyectada sobre el plano horizontal de la línea del miembro superior ejecutor en relación al eje de hombros. La línea del miembro superior ejecutor es un vector cuya dirección y sentido está definido por la recta que pasa a través del marcador hombro del lado ejecutor hacia el marcador disco. El eje de hombros es un vector cuya dirección y sentido está definido por la recta que pasa a través del marcador hombro del lado libre hacia el marcador hombro del lado ejecutor. El plano horizontal está definido por los ejes X e Y (figura 3.11).
- **θ_{ROD_d} :** Ángulo de rodilla del lado ejecutor a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble*. Es el ángulo de flexión de la rodilla. Está definido por la distancia angular entre la prolongación de la recta que une los

marcadores cadera hacia rodilla, y la recta que une los marcadores rodilla hacia tobillo. La extensión se establece en 0 grados (figura 3.12).

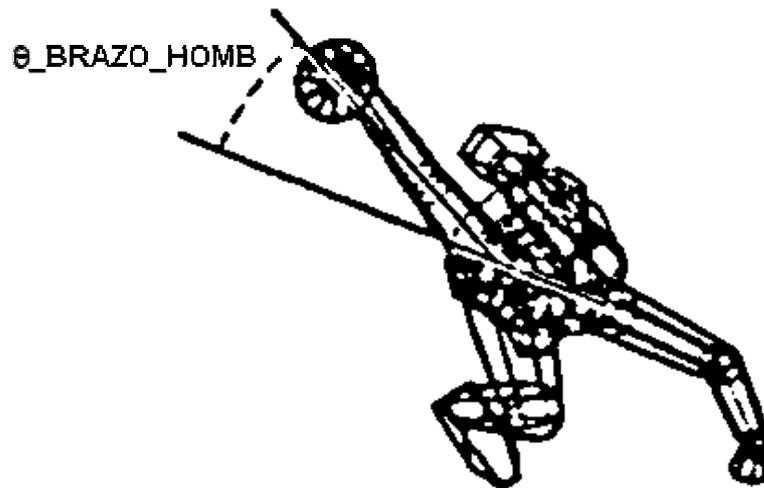


Figura 3.11. Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de hombros (Modificado de Dapena y Anderst, 1997).

- θ_{ROD_i} : Ángulo de la rodilla del lado libre a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble* (figura 3.12).

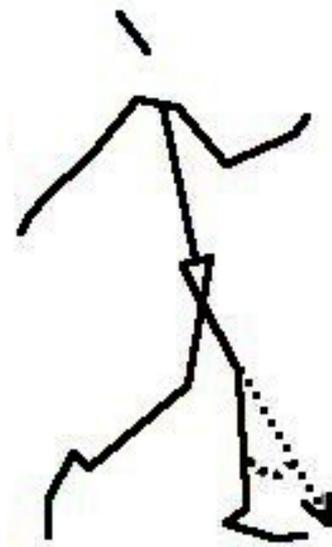


Figura 3.12. Convenio usado para la medida del ángulo articular de la rodilla.

- θ_{HOMB_d} : Ángulo del hombro del lado ejecutor a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble*. Es el ángulo de abducción del

hombro respecto a la línea del tronco. Esta definido por la distancia angular entre la recta que une los marcadores hombro hacia codo, y la recta que une los marcadores esternón hacia punto medio de caderas (figura 3.13).

- **θ_{HOMB}** : Ángulo del hombro del lado libre a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble* (figura 3.13).

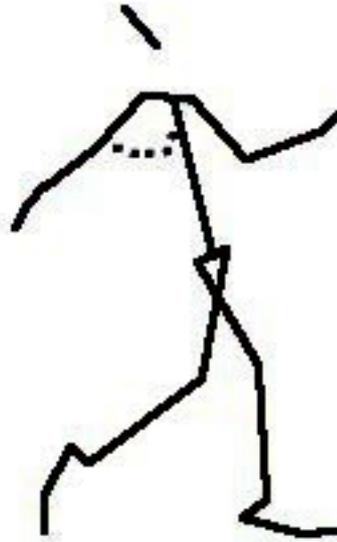


Figura 3.13. Convenio usado para la medida del ángulo articular del hombro.

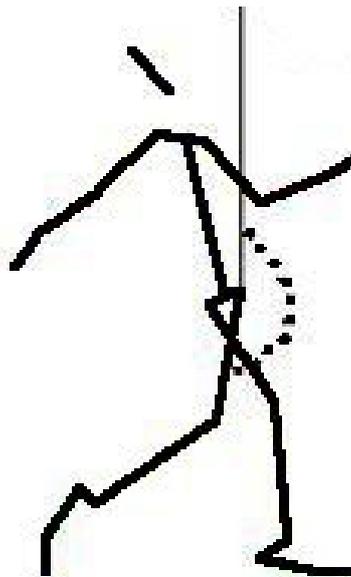


Figura 3.14. Convenio usado para la medida del ángulo articular de la cadera.

- θ_{CAD_d} : Ángulo de la cadera del lado ejecutor a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble*. Es el ángulo de flexión de caderas respecto al eje vertical. Está definido por la distancia angular entre la recta que une los marcadores cadera hacia rodilla, y el eje vertical que pasa a través del marcador cadera (figura 3.14).
- θ_{CAD_i} : Ángulo de la cadera del lado libre a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble* (figura 3.14).

b) DE POSICIÓN

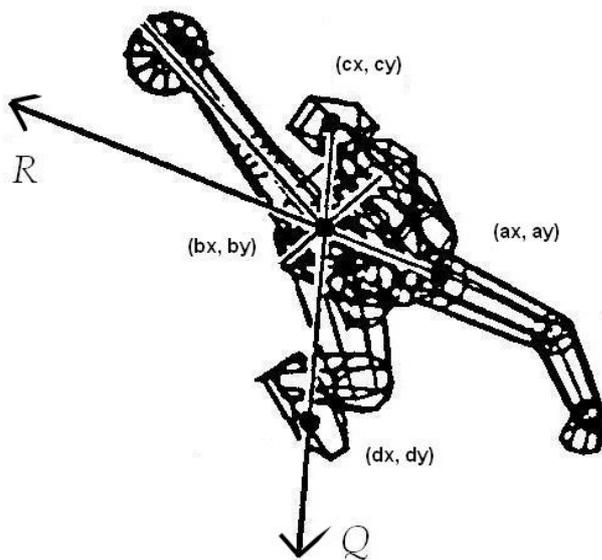
- Ángulo entre el eje de caderas y la línea de pies en los siguientes instantes:
 - $\theta_{\text{CAD_PIES}_{\text{APD}}}$: Ángulo medido en el instante de inicio de la *Fase de Segundo Apoyo Simple*.
 - $\theta_{\text{CAD_PIES}_{\text{MAX}}}$: Máximo ángulo logrado.
 - $\theta_{\text{CAD_PIES}_{\theta_{\text{BRAZO_PIES}_{\text{max}}}}}$: Ángulo medido en el instante de máxima torsión del sistema.
 - $\theta_{\text{CAD_PIES}_{\text{lib}}}$: Ángulo medido en el instante de liberación.
- Ángulo entre el eje de hombros y la línea de pies en los siguientes instantes:
 - $\theta_{\text{HOMB_PIES}_{\text{APD}}}$: Ángulo medido en el instante de inicio de la *Fase de Segundo Apoyo Simple*.
 - $\theta_{\text{HOMB_PIES}_{\text{MAX}}}$: Máximo ángulo logrado.
 - $\theta_{\text{HOMB_PIES}_{\theta_{\text{BRAZO_PIES}_{\text{max}}}}}$: Ángulo medido en el instante de máxima torsión del sistema.
 - $\theta_{\text{HOMB_PIES}_{\text{lib}}}$: Ángulo medido en el instante de liberación.
- Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y la línea de pies en los siguientes instantes:

- $\theta_{\text{BRAZO_PIES}_{\text{APD}}}$: Ángulo medido en el instante de inicio de la *Fase de Segundo Apoyo Simple*.
- $\theta_{\text{BRAZO_PIES}_{\text{MAX}}}$: Máximo ángulo logrado.
- $\theta_{\text{BRAZO_PIES}_{\text{lib}}}$: Ángulo medido en el instante de liberación.
- Ángulo entre el eje de hombros y el eje de caderas en los siguientes instantes:
 - $\theta_{\text{HOMB_CAD}_{\text{APD}}}$: Ángulo medido en el instante de inicio de la *Fase de Segundo Apoyo Simple*.
 - $\theta_{\text{HOMB_CAD}_{\text{MAX}}}$: Máximo ángulo logrado.
 - $\theta_{\text{HOMB_CAD}_{\theta_{\text{BRAZO_PIES}_{\text{max}}}}}$: Ángulo medido en el instante de máxima torsión del sistema.
 - $\theta_{\text{HOMB_CAD}_{\text{lib}}}$: Ángulo medido en el instante de liberación.
- Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de caderas en los siguientes instantes:
 - $\theta_{\text{BRAZO_CAD}_{\text{APD}}}$: Ángulo medido en el instante de inicio de la *Fase de Segundo Apoyo Simple*.
 - $\theta_{\text{BRAZO_CAD}_{\text{MAX}}}$: Máximo ángulo logrado.
 - $\theta_{\text{BRAZO_CAD}_{\theta_{\text{BRAZO_PIES}_{\text{max}}}}}$: Ángulo medido en el instante de máxima torsión del sistema.
 - $\theta_{\text{BRAZO_CAD}_{\text{lib}}}$: Ángulo medido en el instante de liberación.
- Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de hombros en los siguientes instantes:
 - $\theta_{\text{BRAZO_HOMB}_{\text{APD}}}$: Ángulo medido en el instante de inicio de la *Fase de Segundo Apoyo Simple*.
 - $\theta_{\text{BRAZO_HOMB}_{\text{MAX}}}$: Máximo ángulo logrado.

- $\theta_{\text{BRAZO_HOMB}} \theta_{\text{BRAZO_PIESmax}}$: Ángulo medido en el instante de máxima torsión del sistema.
- $\theta_{\text{BRAZO_HOMBlib}}$: Ángulo medido en el instante de liberación.

Se asignaron valores positivos a los ángulos de torsión definidos anteriormente cuando las partes superiores del sistema estaban por detrás de las partes inferiores del sistema (i.e., en el sentido de las agujas del reloj). Los ángulos llegaban a ser más positivos durante la torsión, y estos se tornaban menos positivos, o incluso negativos durante la rotación hacia la dirección de lanzamiento.

Para el cálculo de las posiciones angulares proyectadas sobre un plano se recurrió a la siguiente función:



$$R = [(b_x - a_x), (b_y - a_y)]$$

$$Q = [(d_x - c_x), (d_y - c_y)]$$

$$\cos \beta = \frac{Q_x}{\sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}} \times \frac{R_x}{\sqrt{R_x^2 + R_y^2}} + \frac{Q_y}{\sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}} \times \frac{R_y}{\sqrt{R_x^2 + R_y^2}}$$

$$\text{sen} \beta = \frac{Q_y}{\sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}} \times \frac{R_x}{\sqrt{R_x^2 + R_y^2}} + \frac{Q_x}{\sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}} \times \frac{R_y}{\sqrt{R_x^2 + R_y^2}}$$

- Si $\cos \beta = 0$ y $\text{sen} \beta < 0$

$$\beta = -\left(\frac{\pi}{2}\right)$$

- Si $\cos \beta = 0$ y $\text{sen} \beta > 0$

$$\beta = \left(\frac{\pi}{2}\right)$$

- Si $\cos \beta < 0$ y $\text{sen} \beta \leq 0$

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{\text{sen} \beta}{\cos \beta}\right) - \pi$$

- Si $\cos \beta < 0$ y $\text{sen} \beta > 0$

$$\tan \beta = \tan^{-1}\left(\frac{\text{sen} \beta}{\cos \beta}\right) + \pi$$

- Si $\cos \beta > 0$

$$\tan \beta = \tan^{-1}\left(\frac{\text{sen} \beta}{\cos \beta}\right)$$

- **$\theta_{\text{PIES_DLAN}}_{\text{lib}}$** : Posición angular proyectada sobre el plano horizontal en el instante de liberación del disco en relación a la línea de pies. La línea de pies es un vector cuya dirección y sentido está definido por la recta que pasa a través del marcador metatarso del lado ejecutor hacia el marcador metatarso del lado libre. El plano horizontal está definido por los ejes X e Y (figura 3.15):

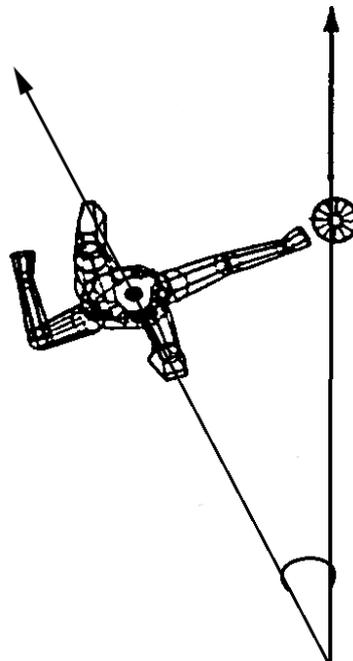


Figura 3.15. Posición angular proyectada sobre el plano horizontal en el instante de liberación del vector velocidad del disco en relación a la línea de pies (Modificado de Dapena y Anderst, 1997).

- **$\theta_{\text{ROD}}_{\text{d(hdisco_min)}}$** : Ángulo de rodilla del lado ejecutor en el instante de altura mínima del disco.

- $\theta_{\text{ROD}}_{i(\text{lib})}$: Ángulo de rodilla del lado libre en el instante de liberación (figura 3.13).
- Ángulo del hombro del lado ejecutor en los siguientes instantes:
 - $\theta_{\text{HOMB}}_{d(\text{hdisco_max})}$: Ángulo medido en el instante de altura máxima del disco
 - $\theta_{\text{HOMB}}_{d(\text{hdisco_min})}$: Ángulo medido en el instante de altura mínima del disco
 - $\theta_{\text{HOMB}}_{d(\text{lib})}$: Ángulo medido en el instante de liberación
- $\theta_{\text{ap_TRONCO}}_{\text{lib}}$: Ángulo de flexo-extensión del tronco. Posición angular proyectada sobre el plano sagital en el instante de liberación del disco en relación al eje anteroposterior. El tronco es un vector cuya dirección y sentido está definido por la recta que pasa a través del marcador punto medio caderas hacia el marcador esternón. Siendo el valor de 90° la posición vertical del tronco. El plano sagital está definido por los ejes X y Z (figura 3.16).

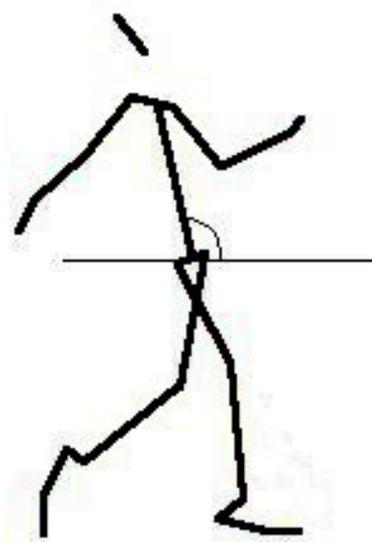


Figura 3.16. Convenio usado para la medida de la flexo-extensión del tronco.

- $\theta_{\text{ml_TRONCO}}_{\text{lib}}$: Ángulo de inflexión lateral del tronco. Posición angular proyectada sobre el plano frontal en el instante de liberación del tronco en relación al eje mediolateral. El tronco es un vector cuya dirección y sentido está

definido por la recta que pasa a través del marcador punto medio caderas hacia el marcador esternón. Siendo el valor de 90° la posición vertical del tronco. El plano frontal está definido por los ejes Y y Z (figura 3.17).

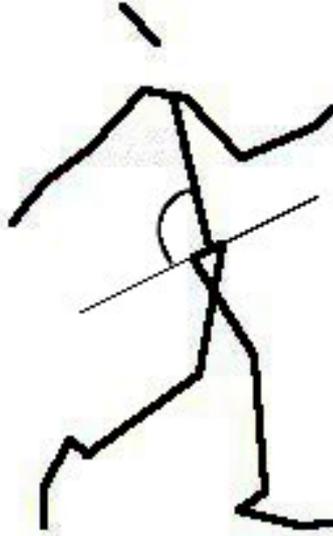


Figura 3.17. Convenio usado para la medida de la inclinación mediolateral del tronco.

- Θ_{DISCOlib} : Ángulo de liberación del disco. Distancia angular entre el vector velocidad absoluta del disco respecto al plano horizontal (figura 3.18).

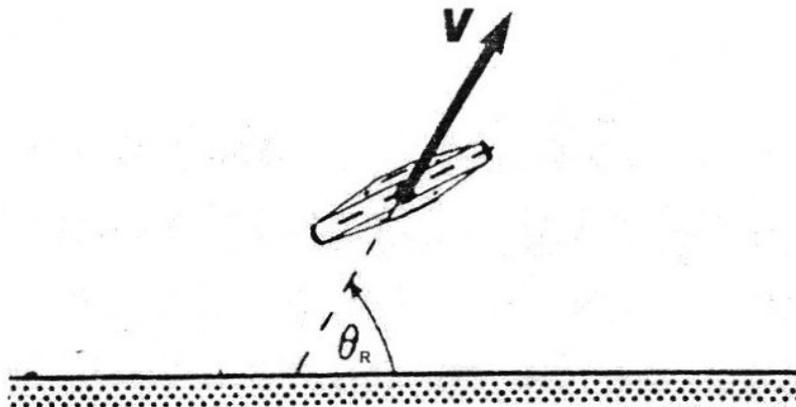
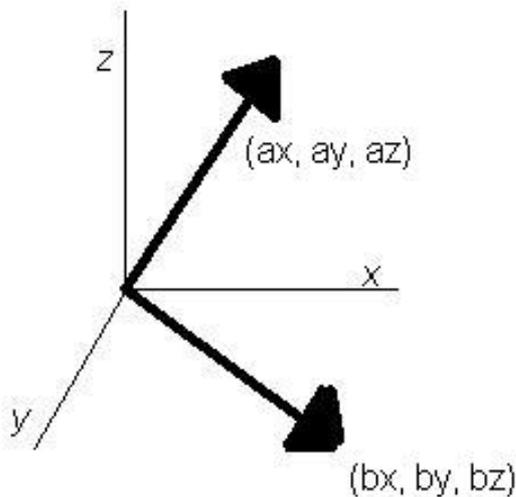


Figura 3.18. Ángulo de liberación del disco (Adaptado de Hay, 1993).

Para el cálculo de las distancias angulares se recurrió a la siguiente función:



$$\beta = \cos^{-1} \left(\frac{a_x \times b_x + a_y \times b_y + a_z \times b_z}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \times \sqrt{b_x^2 + b_y^2 + b_z^2}} \right)$$

3.4.4.1.4 VARIABLES ESPACIO TEMPORALES

a) DE FASE

- **V_{disco}**: Velocidad absoluta del disco a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble*.
- **V_{xydisco}**: Componente horizontal de la velocidad resultante del disco a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble*.
- **V_{zdisco}**: Componente vertical de la velocidad resultante del disco a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble*.
- Incremento de velocidad absoluta del disco
 - **Δ_{Vdisco(SAS)}**: Durante la *Fase de Segundo Apoyo Simple*.
 - **Δ_{Vdisco(SAD)}**: Durante la *Fase de Segundo Apoyo Doble*.
- **V_{HOMBd}**: Velocidad absoluta del marcador hombro del lado ejecutor a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble*.
- **V_{CADd}**: Velocidad absoluta del marcador cadera del lado ejecutor a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble*.

b) DE POSICIÓN

- Velocidad absoluta del disco
 - $V_{\text{DISCO(API)}}$: Módulo del vector velocidad medido al finalizar la *Fase de Segundo Apoyo Simple*.
 - V_{DISCOlib} : Módulo del vector velocidad medido en el instante de liberación.
- $V_{xy\text{DISCOlib}}$: Componente horizontal de la velocidad resultante del disco en el instante de liberación.
- $V_{z\text{DISCOlib}}$: Componente vertical de la velocidad resultante del disco en el instante de liberación.

3.4.4.2 VARIABLES TRAS LA LIBERACIÓN

- d_o : Distancia oficial.
- d_v : Distancia de vuelo. El punto de aterrizaje (el punto desde el cual se mide la distancia del lanzamiento) se estimó por el cálculo de las coordenadas del punto de intersección entre la línea recta definida en el párrafo anterior, y el arco del círculo cuyo centro coincide con el centro del círculo de lanzamiento y cuyo radio fue igual a la distancia oficial más el radio del círculo de lanzamiento. La distancia de vuelo se calculó a partir de las coordenadas de los puntos de aterrizaje y liberación del disco (Hay y Yu, 1995a).

El cálculo de la distancia de vuelo se basó en el modelo representado en la figura 3.19:

En donde;

- a es la distancia de vuelo.
- b es la distancia oficial más el radio del círculo de lanzamiento.
- c es la distancia entre el centro del círculo y la posición del disco en el instante de la liberación.

v es el vector de la velocidad horizontal de liberación del disco.

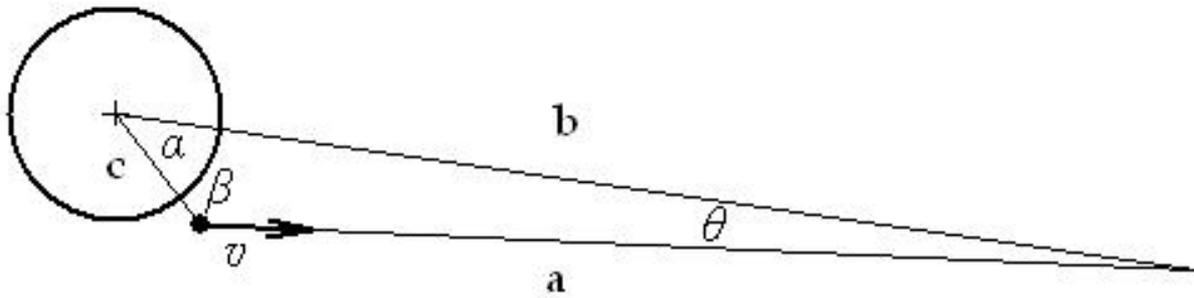


Figura 3.19. Modelo para el cálculo de la distancia de vuelo.

En primera instancia se cálculo el ángulo β a partir del algoritmo:

$$\beta = \cos^{-1} \left(\frac{c_x \times v_x + c_y \times v_y}{\sqrt{c_x^2 + c_y^2} \times \sqrt{v_x^2 + v_y^2}} \right)$$

A partir del valor del ángulo β se cálculo el ángulo θ con el algoritmo:

$$\theta = \text{sen}^{-1} \left(\frac{|p| \times \text{sen}(\pi - \beta)}{d_{o+1}} \right)$$

Una vez conocidos los ángulos β y θ se cálculo el ángulo α a partir del algoritmo:

$$\alpha = \pi - \beta + \theta$$

Por último la distancia de vuelo se cálculo mediante el algoritmo:

$$a = \text{sen}^{-1} \frac{b \times \text{sen}(\alpha)}{\text{sen}(\beta)}$$

- d_p : Distancia perdida. Se calculó a partir de la diferencia entre distancia oficial y distancia de vuelo (Hay y Yu, 1995a):

$$d_p = d_o - d_v$$

El calculo de la distancia de vuelo y de la distancia perdida estuvo basada en la suposición de que el disco aterrice sobre la línea que pasa a través del centro del

disco en el instante de liberación y cuya dirección es el vector de la velocidad horizontal en ese mismo instante.

- d_{TB} : Distancia teórica balística. Se calculó a partir de las ecuaciones del tiro parabólico (figura 3.19).

$$d_{TB} = \frac{v_{DISCOfinal}^2 \times \text{sen} \theta_{DISCOfinal} \times \text{cos} \theta_{DISCOfinal} + v_{DISCOfinal} \times \text{cos} \theta_{DISCOfinal} \times \left[\left(v_{DISCOfinal} \times \text{sen} \theta_{DISCOfinal} \right)^2 + 2g h_{DISCOfinal} \right]^{1/2}}{g}$$

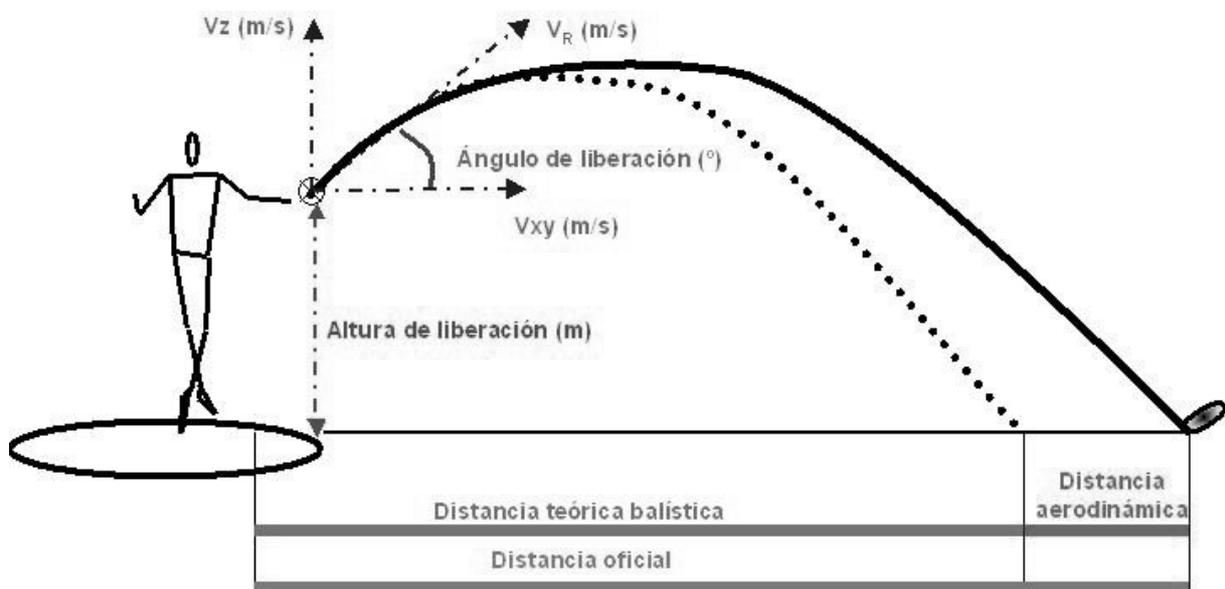


Figura 3.19. Variables de liberación y de vuelo (Adaptado de Ferro y cols. 2004).

- d_A : Distancia aerodinámica. Se calculó a partir de la diferencia entre distancia de vuelo y la distancia teórica balística (figura 3.19).

$$d_A = d_V - d_{TB}$$

3.4.5 MÉTODO DE TRATAMIENTO DE RESULTADOS

Los resultados cinemáticos de las variables expuestas anteriormente se trataron utilizando el paquete estadístico *SPSS para Windows v.12.0.1*. La distribución *Gaussiana* de los datos se contrastó mediante el test de *Kolmogorov-Smirnov*.

Con el objeto de estudiar las asociaciones entre variables cinemáticas estudiadas se aplicó el coeficiente de correlación de *Pearson* ponderado. Los datos que no se distribuían según una distribución normal fueron transformados en rangos simples, y sobre éstos se calculó el coeficiente de *Pearson* ponderado, dando así un enfoque no paramétrico al análisis.

Las diferencias entre las distintas variables de carácter continuo fueron contrastadas mediante la prueba de la *T-Student*.

Los resultados más relevantes se presentaron en el *Cuadro de Indicadores de Eficacia* y se representaron en gráficos. En la última columna del *Cuadro de Indicadores de Eficacia*, titulada “*Tesis*”, se presentan para categoría masculina y femenina: los valores medios, sus desviaciones estándar, el valor máximo y el valor mínimo para las variables medidas en este trabajo.

Las representaciones gráficas se utilizaron para facilitar la comprensión de las variables de fase. Para cada una de ellas se diseñaron gráficas para categoría masculina y femenina. Estas gráficas se elaboraron a partir de los valores medios y desviaciones estándar de cada variable respecto al tiempo normalizado. Para ello se realizaron los siguientes pasos para cada categoría:

- Cada lanzamiento analizado se normalizó respecto al tiempo total del gesto.
- Para cada unidad de porcentaje de tiempo se obtuvo la media y la desviación estándar de todos los lanzamientos.
- Se hicieron las gráficas respecto al tiempo normalizado de las variables con los datos anteriores.

Para marcar los instantes de tiempo “apoyo pie derecho” (APD) y “apoyo pie izquierdo” (API) en cada gráfica se utilizó el valor medio del tiempo normalizado que correspondía a esos instantes.

Resultados y discusión

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El trabajo que se presenta en esta tesis conduce a dos soluciones. Una solución resulta en un *Cuadro de Indicadores de Eficacia* del lanzamiento de disco creado a partir de las aportaciones de los técnicos deportivos, de los biomecánicos y de los trabajos recopilados de la bibliografía consultada sobre el lanzamiento de disco. Y otra solución resulta de la aplicación de técnicas de biomecánica deportiva para el análisis de las variables de eficacia de la técnica de los mejores lanzadores nacionales en categoría masculina y femenina.

A partir de este planteamiento el apartado resultados y discusión se ha dividido en dos grandes apartados. El primero de ellos, hace referencia al cuadro de análisis de la técnica de lanzamiento de disco, y el segundo realiza una descripción del modelo técnico de los mejores lanzadores y lanzadoras de disco utilizando el cuadro anterior.

4.1 CUADRO DE INDICADORES DE EFICACIA

En ocasiones los resultados biomecánicos deportivos divulgados en revistas científicas no son usados en el campo de entrenamiento. Una de las posibles causas de la falta de aplicación de esta información podría ser la desafortunada comunicación entre los científicos del deporte y los técnicos deportivos y atletas. Ante la identificación de este obstáculo se planteó la necesidad de diseñar un formato de presentación de resultados biomecánicos fácilmente entendible por los técnicos deportivos. El *Cuadro de Indicadores de Eficacia* creado en este trabajo intenta ser una posible solución a este problema estableciendo de una manera sencilla y clara nexos entre los aspectos técnicos observables por el técnico deportivo y las variables biomecánicas mensurables por los científicos. Del mismo modo, el cuadro pretende establecer una base de datos que recoja valores de los parámetros biomecánicos de eficacia del lanzamiento de disco para que sirvan de referencia a técnicos deportivos y atletas.

No cabe duda de que uno de los objetivos últimos del entrenamiento de la técnica es llegar a encontrar un modelo técnico deportivo individual y ser capaces de reproducirlo sistemáticamente en la competición para asegurar el máximo rendimiento y la marca deportiva. Sin embargo, la dificultad del logro de este objetivo reside en la dificultad técnica del lanzamiento, en las características físicas y psíquicas del atleta y en las condiciones ambientales de la competición. Teniendo en cuenta los puntos anteriores, no se tuvo la intención con este cuadro de fijar una técnica ideal para todos los lanzadores de disco. El ánimo del *Cuadro de Indicadores de Eficacia* propuesto en este trabajo fue el de aportar una herramienta útil donde se encuentren soluciones a problemas concretos agilizando la valoración de la técnica del lanzamiento de disco por medio de la consulta de valores de referencia correspondientes a variables biomecánicas asociadas a acciones técnicas observables.

Con el objetivo de mostrar las variables de eficacia identificadas en el lanzamiento de disco se elaboró un cuadro que clasifica, ordena la información y permite la valoración de la técnica mediante la cuantificación de dichas variables. El *Cuadro de Indicadores de Eficacia* se presenta en las tablas 4.1 a 4.27.

El *Cuadro de Indicadores de Eficacia* intenta exponer de forma ordenada y comprensible las variables biomecánicas que ayudan a estudiar la técnica del lanzamiento de disco con la intención de mejorar el rendimiento. En este cuadro se clasificaron 210 variables; de todas ellas, el 65% se recuperaron de la bibliografía consultada y el 25% restante fueron nuevas propuestas de este trabajo. Todas ellas se han ordenado en el cuadro para la comprensión completa de la técnica, por lo que se incluyen tanto variables cinemáticas como dinámicas.

Con el fin de disponer de información detallada de consulta se ha completado el cuadro con datos cuantitativos. Estos datos provienen de dos fuentes; por un lado de la bibliografía consultada en aquellas variables que fueron medidas anteriormente en otros estudios científicos; y por otro lado, las procedentes de los resultados del presente trabajo en el que se analizaron las dos últimas fases del lanzamiento de los mejores lanzadores nacionales. La relevancia de los datos provenientes del presente trabajo viene marcada porque éstos son el resultado del estudio de una amplia muestra de lanzadores y lanzadoras de disco de categoría nacional analizados

durante cuatro años consecutivos y que realizaron lanzamientos con una elevada motivación puesto que éstos se ejecutaron en la competición más importante del año.

El *Cuadro de Indicadores de Eficacia* se dividió en sucesivos cuadros para facilitar su utilización tomando como criterio las fases del lanzamiento. Como se ha mencionado anteriormente el gesto completo del lanzamiento de disco se dividió en diferentes fases tomando como límites la sucesión de apoyos. A cada fase identificada le correspondieron dos cuadros: el primero de ellos hace referencia a la posición previa al comenzar la fase, y el segundo desglosa los movimientos realizados durante la fase; además se ha incluido un cuadro sobre la posición de liberación del disco. El problema de dividir en fases una habilidad continua como el lanzamiento de disco, provocó desajustes al intentar delimitar la temporalidad de aquellos movimientos que no se enmarcaban en los límites establecidos.

Como ejemplo se exponen los siguientes casos; en el caso del balanceo del brazo izquierdo en la parte trasera del círculo, que se sucedió durante las fases 1 y 2, su valoración global debería hacerse en las dos fases en conjunto. Así lo realizaron en sus estudios Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997). Otro caso surgiría en determinar cual es el criterio más adecuado para delimitar la última fase. Utilizar el criterio del apoyo del pie izquierdo en la frontal del círculo de lanzamiento como inicio de la fase, o bien, utilizar como inicio el instante de máxima torsión del lanzador, en dónde éste comienza a rotar hacia la dirección de liberación del disco. Apoyos para ambas posturas no faltan, en la bibliografía consultada existen autores (Silvester, 2003) defensores de que el verdadero impulso final se inicia en la posición de doble apoyo ("*Posición de Potencia*") en la cuál el lanzador tendría una posición suficientemente estable para generar el impulso necesario para incrementar la aceleración final del disco. Pero otros autores (Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997) adelantan ese inicio de la aceleración final del disco antes que se produzca el doble apoyo. Estos últimos autores sustentan su teoría aportando datos sobre la velocidad del disco relativa al centro de masas del sistema lanzador + disco. En los valores de la velocidad relativa del disco se puede observar que el incremento final de velocidad comenzó antes de que el pie izquierdo contactase con la frontal del círculo de lanzamiento.

Tabla 4.1. POSICIÓN DE SALIDA (1)

CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN
Llevar el disco tan atrás como sea posible	El lanzador se coloca de espaldas a la dirección de lanzamiento en la parte más posterior del círculo de lanzamiento	Distancia horizontal entre la punta de los pies y el perímetro posterior del círculo de lanzamiento	A menor distancia, mayor proximidad al borde posterior del círculo de lanzamiento
	Posición de los pies respecto a la línea media del círculo de lanzamiento	Distancia horizontal entre el metatarso izquierdo y la línea media del círculo de lanzamiento	A menor distancia, mayor proximidad del apoyo izquierdo a la línea media del círculo de lanzamiento
	Alejar el disco lo máximo posible del cuerpo del lanzador	Distancia horizontal entre el disco y el centro de masas del sistema lanzador+disco	A mayor distancia, mayor alejamiento del disco
		Porcentaje, respecto a la estatura del sujeto, de la distancia horizontal entre el disco y el centro de masas del sistema lanzador+disco	
	Establecer una máxima torsión de caderas	Ángulo entre el eje de caderas y la línea de pies	A mayor ángulo, mayor torsión
	Establecer una máxima torsión de hombros	Ángulo entre el eje de hombros y la línea de pies	A mayor ángulo, mayor torsión
Ángulo entre el eje de caderas y el eje de hombros			

BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
♂ -51cm ♀ -63cm Hay y Yu (1996)	-65cm -1.05cm	-29cm -29cm			

Tabla 4.2. POSICIÓN DE SALIDA (2)

CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN
Llevar el disco tan atrás como sea posible	Establecer una máxima extensión del hombro, llevando el miembro superior ejecutor (derecho) hacia atrás	Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y la línea de pies	A mayor ángulo, mayor torsión
		Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de caderas	
		Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de hombros	
Colocar el disco a una altura entre la línea de hombros y la línea de caderas	Flexionar ligeramente las rodillas	Altura del disco en referencia a la altura del punto medio de la línea de hombros y la línea de caderas	No hay un criterio normalizado simplemente debe situarse a una altura entre los hombros y las caderas
		Ángulo de flexión de la rodilla derecha	No hay un criterio normalizado simplemente debe existir una ligera flexión de rodillas
Colocar el centro de masas sobre el punto de apoyo derecho	Elevar los talones para aumentar la rotación de las caderas y hombros	Ángulo de flexión de la rodilla izquierda	
		Distancia horizontal entre el centro de masas del sistema lanzador+disco y el metatarso del pie derecho	Un cierta altura del talón nos indica una acción de pivote sobre el metatarso del pie derecho e izquierdo
Elevar los talones para aumentar la rotación de las caderas y hombros		Altura del talón derecho respecto al suelo	Un cierta altura del talón nos indica una acción de pivote sobre el metatarso del pie derecho e izquierdo
		Altura del talón izquierdo respecto al suelo	

BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo

Tabla 4.3. FASE 1. PRIMER APOYO DOBLE (1

CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN
Trasladar el peso del cuerpo desde el apoyo derecho hacia el izquierdo para facilitar la rotación	Iniciar el giro del cuerpo, rápidamente, en la dirección de lanzamiento	Momento angular del sistema lanzador+disco sobre el eje vertical al finalizar la fase	A mayor valor, mayor rotación
		Momento angular del lanzador sobre el eje vertical al finalizar la fase	
		Momento angular del disco sobre el eje vertical al finalizar la fase	
	Iniciar el giro desde las caderas permaneciendo el disco en situación retrasada	Cociente entre el momento angular del disco sobre el eje vertical y el momento angular del lanzador sobre el eje vertical	A menor valor, mayor protagonismo del lanzador sobre el disco
Extender y alejar el miembro superior libre (izquierdo)		Valor medio de la distancia horizontal entre el miembro superior libre y el eje vertical que pasa por el centro de masas del sistema lanzador+disco	A mayor valor, más alejado se balancea el miembro superior libre
		Porcentaje, respecto a la estatura del sujeto, de la distancia horizontal media entre el miembro superior libre y el eje vertical que pasa por el centro de masas del sistema lanzador+disco	
		Valor medio del ángulo de flexo-extensión del codo del miembro superior libre a lo largo de la fase	

)

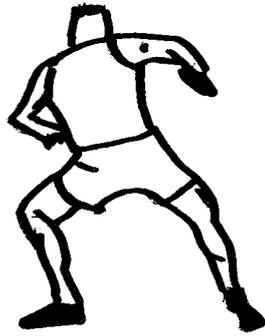
BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
♂ 164s ¹ ·10 ⁻³ SD 19 Dapena y Anderst (1997)	203s ¹ ·10 ⁻³	117s ¹ ·10 ⁻³			
♀ 140s ¹ ·10 ⁻³ SD 21 Dapena <i>et al.</i> (1997)	178s ¹ ·10 ⁻³	105s ¹ ·10 ⁻³			
♂ 149s ¹ ·10 ⁻³ SD 18 Dapena y Anderst (1997)	190s ¹ ·10 ⁻³	107s ¹ ·10 ⁻³			
♀ 129s ¹ ·10 ⁻³ SD 19 Dapena <i>et al.</i> (1997)	165s ¹ ·10 ⁻³	98s ¹ ·10 ⁻³			
♂ 15s ¹ ·10 ⁻³ SD 4 Dapena y Anderst (1997)	22s ¹ ·10 ⁻³	8s ¹ ·10 ⁻³			
♀ 11s ¹ ·10 ⁻³ SD 3 Dapena <i>et al.</i> (1997)	19s ¹ ·10 ⁻³	6s ¹ ·10 ⁻³			
♂ 0.11 SD 0.03 Dapena y Anderst (1997)	0.16s	0.05s			
♀ 0.09 SD 0.02 Dapena <i>et al.</i> (1997)	0.13s	0.06s			
♂ 0.57m SD 0.04 (Fase 1 Dapena y Anderst (1997)	0.63m	0.48m			
♀ 0.52m SD 0.04 (Fase 1 Dapena <i>et al.</i> (1997)	0.56m	0.43m			
♂ 29.7% SD 1.6 (Fase 1 y Dapena y Anderst (1997)	32.70%	26.20%			
♀ 29.0% SD 1.6 (Fase 1 y Dapena <i>et al.</i> (1997)	31.10%	25.10%			

Tabla 4.4. FASE 1. PRIMER APOYO DOBLE (2

CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN
Trasladar el peso del cuerpo desde el apoyo derecho hacia el izquierdo para facilitar la rotación	Mantener el disco pasivo y lo más alejado posible del lanzador	Valor medio de la distancia horizontal entre el disco y el centro de masas del sistema lanzador+disco a lo largo de esta fase	A mayor valor, mayor alejamiento
		Incremento de velocidad absoluta del disco en esta fase	A menor valor, menor actividad del disco
	Realizar una apertura amplia y rápida del miembro superior libre (izquierdo) alrededor del lanzador	Velocidad angular media del miembro superior libre	Valor medio del momento angular del miembro superior libre sobre al eje vertical en esta fase
Acción del miembro superior libre. Integral respecto al tiempo del momento angular del miembro superior libre sobre el eje vertical			

)

BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
♂ 5.09m/s SD 0.89 ♀ 4.85m/s SD 1.26 Hay y Yu (1995a)					
♂ 35s ¹ ·10 ⁻³ SD 5 Dapena y Anderst (1997)	44s ¹ ·10 ⁻³	25s ¹ ·10 ⁻³			
♀ 28s ¹ ·10 ⁻³ SD 4 Dapena <i>et al.</i> (1997)	34s ¹ ·10 ⁻³	20s ¹ ·10 ⁻³ Fase 1 y 2			
♂ 33.8Kg·m ² ·10 ⁻³ /Kg·m ² Dapena y Anderst (1997)	45.5Kg·m ² ·10 ⁻³	26.8Kg·m ² ·10 ⁻³			
♀ 29.5Kg·m ² ·10 ⁻³ /Kg·m ² Dapena <i>et al.</i> (1997)	42.2Kg·m ² ·10 ⁻³	23.6Kg·m ² ·10 ⁻³ Fase 1 y 2			

Tabla 4.5. POSICIÓN INICIAL FASE 2

CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN
Peso sobre el apoyo izquierdo	Establecer y mantener una anticipación de la línea de caderas sobre la línea de hombros	Ángulo entre eje de hombros y eje de caderas	A mayor ángulo, mayor adelantamiento de las caderas sobre los hombros
	Establecer y mantener una anticipación de la línea de hombros sobre el disco	Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de hombros	A mayor ángulo, mayor adelantamiento de los hombros sobre el disco
	Mantener el disco lo más alejado posible del lanzador	Distancia horizontal entre el disco y el centro de masas del sistema lanzador+disco	A mayor valor, mayor alejamiento
	Desplazar el peso hacia el apoyo izquierdo	Distancia horizontal entre el centro de masas del sistema lanzador+disco y el apoyo izquierdo al finalizar la fase	A menor diferencia, mayor acercamiento del peso al apoyo izquierdo

--	--	--	--	--	--

BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
♂ -44cm ♀ -42cm Hay y Yu (1996)	-60cm -63cm	-35cm -17cm			
Al finalizar fase 2					

Tabla 4.6. FASE 2. PRIMERA FASE DE APOYO

CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN
Girar hacia la dirección de lanzamiento sin perder velocidad mediante la acción del miembro superior libre (izquierdo) y del miembro inferior libre (derecho)	Balancear el miembro inferior libre (derecho) alrededor del miembro inferior en apoyo (izquierdo)	Gráfica de la posición horizontal de la punta del pie libre con respecto a la punta del pie en apoyo	Existen dos criterios en la bibliografía: 1. Balancear el miembro inferior libre cercano al miembro inferior en apoyo, valores bajos 2. Balancear el miembro inferior libre alejado del miembro inferior en apoyo, valores altos
		Distancia mínima horizontal entre punta del pie libre y la punta del pie de apoyo	
		Distancia máxima horizontal entre punta del pie libre y la punta del pie de apoyo	
		Valor medio del radio de giro del miembro inferior libre sobre el eje vertical	
		Porcentaje, respecto a la estatura del sujeto, del valor medio del radio de giro del miembro inferior libre sobre el eje vertical	
Velocidad angular media del miembro inferior libre en esta fase			

) SIMPLE (1)

BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
Hay y Yu (1996) Susanka et al. (1988)					
♂ 0.27m SD 0.02 Dapena y Anderst (1997)	0.32m	0.22m			
♀ 0.25m SD 0.03 Dapena <i>et al.</i> (1997)	0.29m	0.20m			
♂ 14.2% SD 1.2 Dapena y Anderst (1997)	16.40%	11.20%			
♀ 13.9% SD 1.6 Dapena <i>et al.</i> (1997)	16.70%	11.20%			

Tabla 4.7. FASE 2. PRIMERA FASE DE APOYO

CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN
Girar hacia la dirección de lanzamiento sin perder velocidad mediante la acción del miembro superior libre (izquierdo) y del miembro inferior libre (derecho)	Balancear el miembro inferior libre (derecho) alrededor del miembro inferior en apoyo (izquierdo)	Valor medio del momento angular del miembro inferior libre sobre el eje vertical	1. Balancear el miembro inferior libre cercano al miembro inferior en apoyo, valores bajos 2. Balancear el miembro inferior libre alejado del miembro inferior en apoyo, valores altos
		Acción miembro inferior libre. Integral respecto al tiempo del momento angular del miembro inferior libre sobre el eje vertical	
Impulsar con el miembro inferior en apoyo (derecho) enérgicamente hacia la dirección de lanzamiento		Presión máxima del pie en apoyo	A mayor valor, mayor impulso
		Impulso mecánico horizontal del pie de apoyo	
		Fuerza máxima del pie de apoyo	
		Impulso mecánico vertical del pie de apoyo	
		Ángulo de dirección de movimiento del centro de masas del sistema lanzador+disco con respecto a la dirección de lanzamiento	0°. Positivo a la derecha. Negativo a la izquierda
		Velocidad horizontal del centro de masas del sistema lanzador+disco al finalizar la fase	A mayor valor, mayor impulso
Velocidad vertical del centro de masas del sistema lanzador+disco al finalizar la fase			

) SIMPLE (2)

BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
♂ 65s ¹ ·10 ⁻³ SD 8 Dapena y Anderst (1997)	82s ¹ ·10 ⁻³	49s ¹ ·10 ⁻³			
♀ 65s ¹ ·10 ⁻³ SD 12 Dapena <i>et al.</i> (1997)	92s ¹ ·10 ⁻³	39s ¹ ·10 ⁻³			
♂ 24.9Kg·m ² ·10 ⁻³ /Kg·m ² Dapena y Anderst (1997)	34.0Kg·m ² ·10 ⁻³	15.7Kg·m ² ·10 ⁻³			
♀ 28.5Kg·m ² ·10 ⁻³ /Kg·m ² Dapena <i>et al.</i> (1997)	36.9Kg·m ² ·10 ⁻³	15.8Kg·m ² ·10 ⁻³			
Bartlett <i>et al.</i> (1991)					
Yu <i>et al.</i> (2002)					
Yu <i>et al.</i> (2002)					
Yu <i>et al.</i> (2002)					
♂ -23° SD 9 Dapena y Anderst (1997)	1°	-42°			
♀ -20° SD 7 Dapena <i>et al.</i> (1997)	-3°	-28°			
♂ 2.4m/s SD 0.2 Dapena y Anderst (1997)	2.8m/s	2.0m/s			
♀ 2.4m/s SD 0.3 Dapena <i>et al.</i> (1997)	3.1m/s	2.0m/s			

Tabla 4.8. FASE 2. PRIMERA FASE DE APOYO

CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN
Girar hacia la dirección de lanzamiento sin perder velocidad mediante la acción del miembro superior libre (izquierdo) y del miembro inferior libre (derecho)	Mantener el miembro superior libre (izquierdo) extendido y alejado del lanzador	Valor medio del radio de giro del miembro superior libre sobre el eje vertical	A mayor valor, mayor extensión y alejamiento del lanzador
		Porcentaje, respecto a la estatura del sujeto, del valor medio del radio de giro del miembro superior libre sobre el eje vertical	
		Valor medio del ángulo de flexo-extensión del codo del miembro superior libre	
Realizar una apertura amplia y rápida del miembro superior libre (izquierdo) alrededor del lanzador y hacia la dirección del lanzamiento	Realizar una apertura amplia y rápida del miembro superior libre (izquierdo) alrededor del lanzador y hacia la dirección del lanzamiento	Valor medio de la velocidad angular del miembro superior libre	A mayor valor, mayor apertura amplia y rápida del miembro superior libre
		Valor medio del momento angular del miembro superior libre sobre el eje vertical	
		Acción del miembro superior libre. Integral respecto al tiempo del momento angular del miembro superior libre sobre el eje vertical	

) SIMPLE (3)

BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
♂ 0.57m SD 0.04 (Fase1 y Dapena y Anderst (1997))	0.63m	0.48m			
♀ 0.52m SD 0.04 (Fase1 y Dapena <i>et al.</i> (1997))	0.56m	0.43m			
♂ 29.7% SD 1.6 (Fase1 y Dapena y Anderst (1997))	32.70%	26.20%			
♀ 29.0% SD 1.6 (Fase1 y Dapena <i>et al.</i> (1997))	31.10%	25.10%			
♂ 35s ¹ ·10 ⁻³ SD 5 (Dapena y Anderst (1997))	44s ¹ ·10 ⁻³	25s ¹ ·10 ⁻³			
♀ 28s ¹ ·10 ⁻³ SD 4 (Dapena <i>et al.</i> (1997))	34s ¹ ·10 ⁻³	20s ¹ ·10 ⁻³			
		Fase 1 y 2			
♂ 33.8Kg·m ² ·10 ⁻³ /Kg·m ² (Dapena y Anderst (1997))	45.5Kg·m ² ·10 ⁻³	26.8Kg·m ² ·10 ⁻³			
♀ 29.5Kg·m ² ·10 ⁻³ /Kg·m ² (Dapena <i>et al.</i> (1997))	42.2Kg·m ² ·10 ⁻³	23.6Kg·m ² ·10 ⁻³			
		Fase 1 y 2			

Tabla 4.9. FASE 2. PRIMERA FASE DE APOYO

CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN	
Girar hacia la dirección de lanzamiento sin perder velocidad mediante la acción del miembro superior libre (izquierdo) y del miembro inferior libre (derecho)	Describir, durante las dos primeras fases y con el miembro superior libre (izquierdo), una trayectoria alrededor del lanzador amplia y rápida	Suma de la acción del miembro superior libre en las fases 1 y 2	A mayor valor, más amplia y rápida es la apertura del miembro superior libre en ambas fases	
	Balancear el miembro inferior libre (derecho) y el miembro superior libre (izquierdo)	Suma de la acción del miembro inferior libre y de la acción del miembro superior libre durante las fases 1 y 2	A mayor valor, más amplio y rápido es el balanceo de los miembros libres superior e inferior	
	Mantener el disco pasivo y lo más alejado posible del lanzador		Distancia horizontal media entre el disco y el centro de masas del sistema lanzador+disco	A mayor valor, mayor alejamiento
			Incremento de velocidad absoluta del disco en esta fase	A menor valor, menor actividad del disco
			Velocidad del disco absoluta al finalizar esta fase	
	Descender el disco cuando éste se encuentre en línea con la dirección de lanzamiento		Altura mínima del disco en esta fase	A menor valor, mayor descenso del disco
Porcentaje, respecto a la estatura del sujeto, de la altura mínima del disco en esta fase				
Continuar desplazando el peso del lanzador hacia el pie de apoyo (izquierdo)		Mínima distancia horizontal entre el centro de masas del sistema lanzador+disco y pie de apoyo	A menor valor, mayor acercamiento del peso al apoyo	

3) SIMPLE (4)

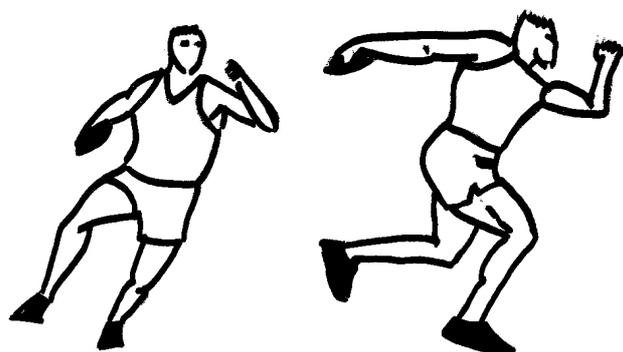
BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
♂ 33.8Kg·m ² ·10 ⁻³ /Kg·m ² Dapena y Anderst (1997)	45.5Kg·m ² ·10 ⁻³	26.8Kg·m ² ·10 ⁻³			
♀ 29.5Kg·m ² ·10 ⁻³ /Kg·m ² Dapena <i>et al.</i> (1997)	42.2Kg·m ² ·10 ⁻³	23.6Kg·m ² ·10 ⁻³			
♂ 58.7Kg·m ² ·10 ⁻³ /Kg·m ² Dapena y Anderst (1997)	79.5Kg·m ² ·10 ⁻³	48.4Kg·m ² ·10 ⁻³			
♀ 58.0Kg·m ² ·10 ⁻³ /Kg·m ² Dapena <i>et al.</i> (1997)	77.9Kg·m ² ·10 ⁻³	39.3Kg·m ² ·10 ⁻³			
♂ 3.09m/s SD 1.09 ♀ 2.18m/s SD 1.46 Hay y Yu (1995a)					
♂ 8.18m/s SD 0.86 ♀ 7.03m/s SD 0.78 Hay y Yu (1995a)					
♂ elite 0.96m SD 0.11 ♂ júnior 1.04m SD 0.09 Silvestre y McCoy (1995)					
♂ 1.04m SD 0.11 ♀ 0.95m SD 0.10 Susanka <i>et al.</i> (1988)	1.23m 1.19m	0.94m 0.75m			
♂ elite 49.4% SD 5.2 ♂ júnior 55.8% SD 4.8 Silvestre y McCoy (1995)					
♂ -44cm ♀ -42cm Hay y Yu (1996)	-35cm -17cm	-60cm -63cm			

Al finalizar fase 2

Tabla 4.10. POSICIÓN INICIAL FASE 3

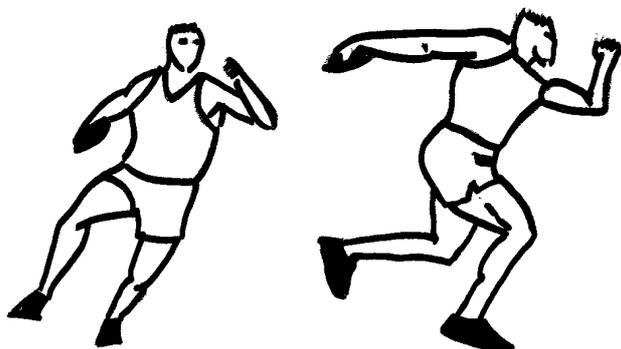
CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN
	Continuar el giro rápido del cuerpo	Momento angular del sistema lanzador+disco sobre el eje vertical al finalizar la fase	A mayor valor, mayor rotación
		Diferencia de momento angular del sistema lanzador+disco sobre el eje vertical en esta fase con respecto a la anterior	
		Momento angular del lanzador sobre el eje vertical al finalizar la fase	
		Diferencia de momento angular del lanzador sobre el eje vertical en esta fase con respecto a la anterior	
		Momento angular del disco sobre el eje vertical al finalizar la fase	
		Diferencia de momento angular del disco sobre el eje vertical en esta fase con respecto a la anterior	
	Continuar el giro del lanzador desde las caderas permaneciendo el disco en situación retrasada	Cociente entre el momento angular del disco sobre el eje vertical y el momento angular del lanzador sobre el eje vertical	A menor valor, mayor protagonismo del lanzador sobre el disco
	Impulsar enérgicamente en la dirección del lanzamiento	Ángulo de flexo-extensión de la rodilla del miembro inferior en apoyo (izquierdo)	Próximo a 180°, mayor extensión
Ángulo de flexo-extensión de la cadera del miembro inferior en apoyo (izquierdo)			

BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
♂ 189s ¹ ·10 ⁻³ SD 18 Dapena y Anderst (1997)	218s ¹ ·10 ⁻³	156s ¹ ·10 ⁻³			
♀ 167s ¹ ·10 ⁻³ SD 25 Dapena <i>et al.</i> (1997)	224s ¹ ·10 ⁻³	135s ¹ ·10 ⁻³			
♂ 25s ¹ ·10 ⁻³ SD 15 Dapena y Anderst (1997)	48s ¹ ·10 ⁻³	-21s ¹ ·10 ⁻³			
♀ 28s ¹ ·10 ⁻³ SD 13 Dapena <i>et al.</i> (1997)	50s ¹ ·10 ⁻³	3s ¹ ·10 ⁻³			
♂ 174s ¹ ·10 ⁻³ SD 17 Dapena y Anderst (1997)	203s ¹ ·10 ⁻³	145s ¹ ·10 ⁻³			
♀ 157s ¹ ·10 ⁻³ SD 23 Dapena <i>et al.</i> (1997)	209s ¹ ·10 ⁻³	128s ¹ ·10 ⁻³			
♂ 25s ¹ ·10 ⁻³ SD 16 Dapena y Anderst (1997)	51s ¹ ·10 ⁻³	-23s ¹ ·10 ⁻³			
♀ 28s ¹ ·10 ⁻³ SD 12 Dapena <i>et al.</i> (1997)	52s ¹ ·10 ⁻³	7s ¹ ·10 ⁻³			
♂ 15s ¹ ·10 ⁻³ SD 3 Dapena y Anderst (1997)	22s ¹ ·10 ⁻³	6s ¹ ·10 ⁻³			
♀ 11s ¹ ·10 ⁻³ SD 3 Dapena <i>et al.</i> (1997)	15s ¹ ·10 ⁻³	7s ¹ ·10 ⁻³			
♂ -1s ¹ ·10 ⁻³ SD 3 Dapena y Anderst (1997)	6s ¹ ·10 ⁻³	-7s ¹ ·10 ⁻³			
♀ -1s ¹ ·10 ⁻³ SD 3 Dapena <i>et al.</i> (1997)	4s ¹ ·10 ⁻³	-6s ¹ ·10 ⁻³			
♂ 0.09 SD 0.02 Dapena y Anderst (1997)	0.12	0.03			
♀ 0.07 SD 0.02 Dapena <i>et al.</i> (1997)	0.10	0.04			

Tabla 4.11. FASE 3. FASE DE VUELO (1)

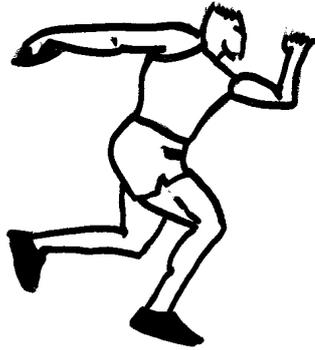
CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN
Aumentar la torsión entre hombros y caderas	Disminuir la fase de vuelo	Duración de la fase	La menor posible
	Aproximar los muslos	Valor medio de la distancia horizontal entre miembro inferior derecho y el eje longitudinal del lanzador	A menor valor, mayor agrupamiento
		Porcentaje, respecto a la estatura del sujeto, del valor medio de la distancia horizontal entre el miembro inferior derecho y el eje longitudinal del lanzador	
		Valor medio de la distancia horizontal entre el miembro inferior izquierdo y el eje longitudinal del lanzador	
		Porcentaje, respecto a la estatura del sujeto, del valor medio de la distancia horizontal entre el miembro inferior izquierdo y el eje longitudinal del lanzador	
		Valor medio de la distancia horizontal entre los dos miembros inferiores	
Porcentaje de diferencia media de distancia horizontal entre las dos piernas relativa a la altura del sujeto			

BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
			♂ 0.06s SD 0.03 ♀ 0.10s SD 0.04	0.13s 0.16s	0.01s 0.04s
♂ 0.20m SD 0.01 (Fase 3 y Dapena y Anderst (1997))	0.23m	0.18m			
♀ 0.18m SD 0.02 (Fase 3 y Dapena <i>et al.</i> (1997))	0.24m	0.15m			
♂ 10.5% SD 0.8 (Fase 3 y Dapena y Anderst (1997))	12.2%	9.3%			
♀ 10.3% SD 1.4 (Fase 3 y Dapena <i>et al.</i> (1997))	14.3%	8.0%			
♂ 0.17m SD 0.02 (Fase 3 y Dapena y Anderst (1997))	0.21m	0.14m			
♀ 0.16m SD 0.01 (Fase 3 y Dapena <i>et al.</i> (1997))	0.18m	0.14m			
♂ 8.6% SD 0.8 (Fase 3 y Dapena y Anderst (1997))	10.8%	7.3%			
♀ 9.0% SD 0.8 (Fase 3 y Dapena <i>et al.</i> (1997))	10.4%	7.2%			
♂ 0.18m SD 0.01 (Fase 3 y Dapena y Anderst (1997))	0.21m	0.16m			
♀ 0.17m SD 0.02 (Fase 3 y Dapena <i>et al.</i> (1997))	0.21m	0.14m			
♂ 9.5% SD 0.7 (Fase 3 y Dapena y Anderst (1997))	11.0%	8.3%			
♀ 9.6% SD 1.1 (Fase 3 y Dapena <i>et al.</i> (1997))	12.2%	7.6%			

Tabla 4.12. FASE 3. FASE DE VUELO (2)

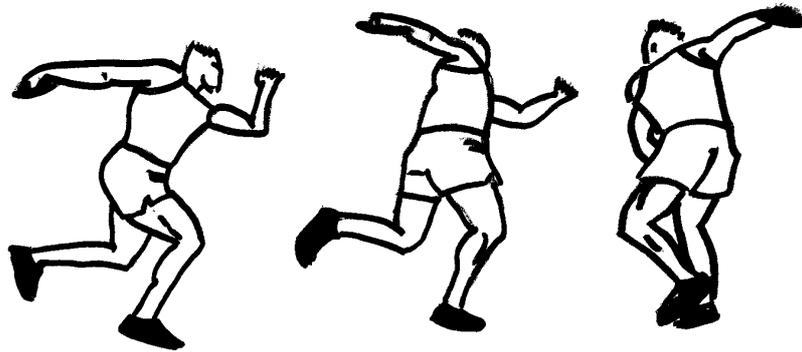
CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN
Aumentar la torsión entre hombros y caderas	Mantener el miembro superior ejecutor (derecho) extendido alejando el disco del lanzador	Valor medio de la distancia horizontal entre el disco y el centro de masas sistema lanzador+disco	A mayor valor, mayor alejamiento
		Ángulo de flexo-extensión del codo del miembro superior ejecutor	Cercano a 180°, extensión completa
		Incremento de velocidad absoluta del disco en esta fase	A menor valor, menor actividad del disco
		Velocidad absoluta del disco al finalizar la fase	
Aproximar el miembro superior libre (izquierdo) al lanzador	Aproximar el miembro superior libre (izquierdo) al lanzador	Valor medio del radio de giro del miembro superior libre sobre el eje vertical	A menor valor, mayor agrupamiento
		Porcentaje, respecto a la estatura del sujeto, del valor medio del radio de giro del miembro superior libre sobre el eje vertical	
Frenar el movimiento del miembro superior libre (izquierdo) recobrándolo hacia el lanzador	Frenar el movimiento del miembro superior libre (izquierdo) recobrándolo hacia el lanzador	Valor medio de la velocidad angular del miembro superior libre	A menor valor, mayor frenado y recobro del miembro superior libre
		Diferencia de velocidad angular entre el valor máximo alcanzado en las fases 1 y 2 y la mínima lograda en la fase 3	
		Valor medio del momento angular del miembro superior libre sobre el eje vertical	
Flexionar dorsalmente el tobillo del miembro inferior derecho como medida de pre-activación	Flexionar dorsalmente el tobillo del miembro inferior derecho como medida de pre-activación	Ángulo de flexo-extensión tobillo del miembro inferior derecho al finalizar la fase	Menor de 90°

BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
♂ -0.63m/s SD 1.06 ♀ -0.44m/s SD 1.52 Hay y Yu (1995a)					
♂ 7.56m/s SD 0.77 ♀ 6.59m/s SD 1.48 Hay y Yu (1995a)			♂ 8.5m/s SD 1.1 ♀ 6.0m/s SD 0.6	9.8m/s 6.9m/s	5.8m/s 5.2m/s
♂ 0.47m SD 0.05 Dapena y Anderst (1997) ♀ 0.42m SD 0.05 Dapena <i>et al.</i> (1997)	0.58m 0.50m	0.39m 0.31m			
♂ 24.5% SD 2.3 Dapena y Anderst (1997) ♀ 23.7% SD 2.5 Dapena <i>et al.</i> (1997)	29.9% 28.5%	20.5% 17.8%			
♂ $35s^1 \cdot 10^{-3}$ SD 9 Dapena y Anderst (1997) ♀ $31s^1 \cdot 10^{-3}$ SD 7 Dapena <i>et al.</i> (1997)	$52s^1 \cdot 10^{-3}$ $44s^1 \cdot 10^{-3}$	$16s^1 \cdot 10^{-3}$ $17s^1 \cdot 10^{-3}$			

Tabla 4.13. POSICIÓN INICIAL FASE 4

CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN	
Establecer un estiramiento de los músculos rotadores del tronco que incremente la ventaja del eje de caderas sobre el eje de hombros y estos a su vez mantenga la anticipación sobre el brazo ejecutor y el disco	Aumentar la torsión de las caderas	Ángulo entre el eje de caderas y la línea de pies	A mayor ángulo, mayor torsión de caderas	
	Aumentar la torsión de los hombros	Ángulo entre el eje de hombros y la línea de pies	A mayor ángulo, mayor torsión de hombros	
		Ángulo entre el eje de hombros y el eje de caderas		
	Mantener el miembro superior ejecutor (derecho) extendido y alejado del lanzador		Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y la línea de pies	A mayor ángulo, mayor torsión del miembro superior ejecutor
			Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de caderas	
			Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de hombros	

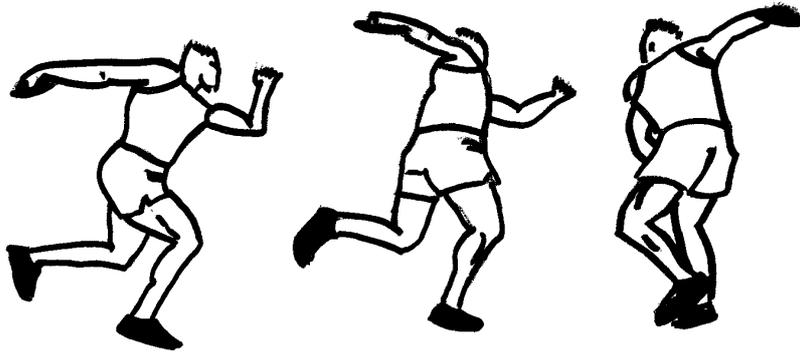
BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
			♂ 30° SD 12 ♀ 43° SD 21	47° 75°	6° 3°
			♂ 57° SD 17 ♀ 92° SD 34	102° 132°	29° 34°
			♂ 27° SD 21 ♀ 48° SD 15	75° 64°	-2° 19°
			♂ 90° SD 16 ♀ 113° SD 37	135° 153°	55° 59°
			♂ 60° SD 16 ♀ 69° SD 20	108° 91°	38° 34°
			♂ 33° SD 14 ♀ 21° SD 8	56° 31°	12° 10°

Tabla 4.14. FASE 4. SEGUNDA FASE DE APOYO

CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN
Lograr la máxima torsión del lanzador a la vez que el pie izquierdo contacta con el suelo lo más rápidamente posible	Contactar el pie izquierdo lo más rápidamente posible	Duración de la fase	A menor tiempo, mayor anterioridad en contactar el pie
	Apoyar el pie derecho cerca del centro del círculo de lanzamiento	Distancia horizontal entre el punto articular metatarso del pie de apoyo y el centro del círculo	A menor distancia, mayor proximidad al centro del círculo
		Distancia horizontal entre la punta del pie de apoyo y la línea media de dirección	
	Colocar el centro de masas encima del apoyo	Valor medio de la distancia horizontal entre el pie de apoyo y el centro de masas del sistema lanzador+disco	A menor distancia, mayor proximidad del centro de masas al apoyo
Lograr la máxima torsión del atleta	Aumentar la torsión de caderas	Ángulo máximo entre el eje de caderas y la línea de pies	A mayor ángulo, mayor torsión
		Ángulo entre el eje de caderas y la línea de pies en el instante de máxima torsión del sistema	

YO SIMPLE (1)

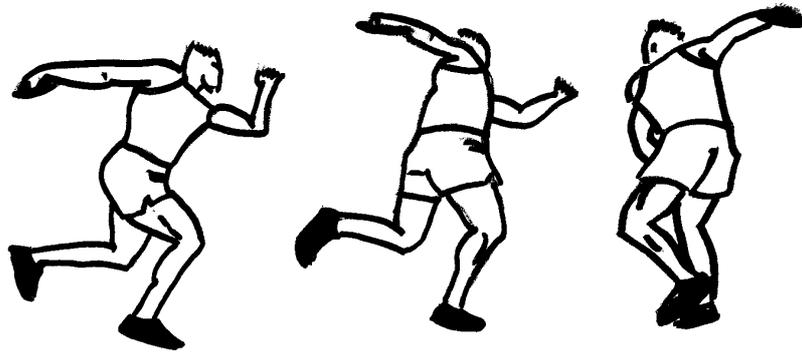
BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
			♂ 0.21s SD 0.03 ♀ 0.20s SD 0.05	0.28s 0.26s	0.18s 0.11s
			♂ 0.23m SD 0.12 ♀ 0.24m SD 0.12	0.41m 0.47m	0.05m 0.06m
♂ 0.21m ♀ 0.06m Hay y Yu (1996)	0.61m 0.39m	-0.01m -0.27m			
♂ 56° SD 13 Dapena y Anderst (1997) ♀ 47° SD 15 Dapena <i>et al.</i> (1997)	74° 71°	25° 18°	♂ 58° SD 13 ♀ 65° SD 15	82° 86°	40° 44°
♂ 51° SD 12 Dapena y Anderst (1997) ♀ 43° SD 15 Dapena <i>et al.</i> (1997)	70° 67°	25° 17°	♂ 45° SD 22 ♀ 54° SD 17	82° 85°	9° 32°

Tabla 4.15. FASE 4. SEGUNDA FASE DE APO'

CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO		VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN
Lograr la máxima torsión del lanzador a la vez que el pie izquierdo contacta con el suelo lo más rápidamente posible	Lograr la máxima torsión del atleta	Aumentar la torsión de hombros	Ángulo máximo entre el eje de hombros y la línea de pies	A mayor ángulo, mayor torsión
			Ángulo entre el eje de hombros y la línea de pies en el instante de máxima torsión del sistema	
			Ángulo máximo entre el eje de hombros y el eje de caderas	
			Ángulo entre el eje de hombros y el eje de caderas en el instante de máxima torsión del lanzador	
	Llevar el miembro superior ejecutor (derecho) atrás		Ángulo máximo entre la línea del miembro superior ejecutor y la línea de pies	
			Ángulo máximo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de caderas	
			Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de caderas en el instante de máxima torsión del sistema	
			Ángulo máximo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de hombros	

YO SIMPLE (2)

BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
♂ 111° SD 17 Dapena y Anderst (1997)	148°	77°	♂ 116° SD 27 ♀ 135° SD 28	166° 179°	78° 98°
♀ 112° SD 17 Dapena <i>et al.</i> (1997)	143°	72°			
♂ 110° SD 18 Dapena y Anderst (1997)	148°	77°	♂ 108° SD 26 ♀ 125° SD 31	158° 168°	78° 85°
♀ 108° SD 19 Dapena <i>et al.</i> (1997)	141°	84°			
♂ 61° SD 13 Dapena y Anderst (1997)	94°	39°	♂ 81° SD 19 ♀ 84° SD 21	115° 121°	47° 59°
♀ 69° SD 18 Dapena <i>et al.</i> (1997)	98°	35°			
♀ 81° SD 13 Susanka <i>et al.</i> (1988)	100°	64°			
♂ 58° SD 12 Dapena y Anderst (1997)	91°	34°	♂ 63° SD 20 ♀ 71° SD 21	97° 105°	25° 40°
♀ 64° SD 21 Dapena <i>et al.</i> (1997)	98°	28°			
♂ 144° SD 17 Dapena y Anderst (1997)	171°	115°	♂ 144° SD 24 ♀ 154° SD 23	180° 180°	114° 122°
♀ 141° SD 13 Dapena <i>et al.</i> (1997)	172°	117°			
♂ 95° SD 15 Dapena y Anderst (1997)	119°	69°	♂ 116° SD 19 ♀ 116° SD 15	151° 145°	85° 100°
♀ 103° SD 15 Dapena <i>et al.</i> (1997)	150°	83°			
♂ 93° SD 14 Dapena y Anderst (1997)	118°	66°	♂ 99° SD 15 ♀ 101° SD 15	135° 127°	81° 74°
♀ 97° SD 17 Dapena <i>et al.</i> (1997)	150°	75°			
♂ 45° SD 13 Dapena y Anderst (1997)	65°	13°	♂ 63° SD 11 ♀ 58° SD 12	87° 76°	41° 39°
♀ 54° SD 14 Dapena <i>et al.</i> (1997)	71°	29°			
♀ 63° SD 8 Susanka <i>et al.</i> (1988)	77°	56°			

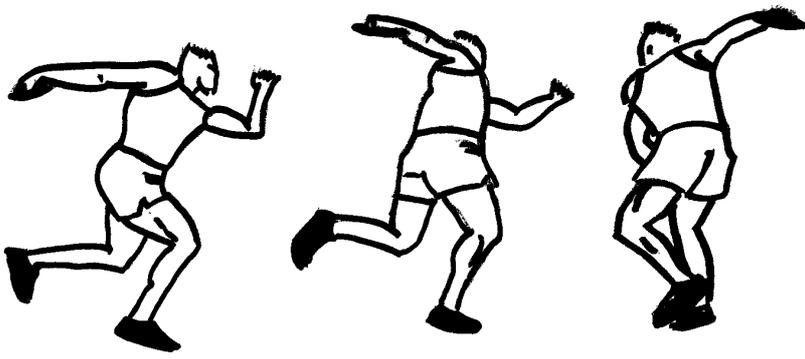
Tabla 4.16. FASE 4. SEGUNDA FASE DE APO

CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO		VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN
Lograr la máxima torsión del lanzador a la vez que el pie izquierdo contacta con el suelo lo más rápidamente posible	Lograr la máxima torsión del atleta	Llevar el brazo ejecutor (derecho) atrás	Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de hombros en el instante de máxima torsión del sistema	A mayor valor mayor torsión
	Extender y alejar el miembro superior libre (izquierdo) del lanzador		Valor medio del radio de giro del miembro superior libre sobre el eje vertical Porcentaje, respecto a la estatura del sujeto, del valor medio del radio de giro del miembro superior libre sobre el eje vertical Valor medio del ángulo del codo del miembro superior libre	A mayor valor, mayor extensión y alejamiento del lanzador
Realizar una apertura amplia y rápida del miembro superior libre (izquierdo) alrededor del lanzador y hacia la dirección del lanzamiento			Valor medio de la velocidad angular del miembro superior libre	A mayor valor, mayor apertura amplia y rápida del miembro superior libre
			Valor medio del momento angular del miembro superior libre sobre el eje vertical	
			Acción del miembro superior libre. Integral respecto al tiempo del momento angular del miembro superior libre sobre el eje vertical	

YO SIMPLE (3)

BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
♂ 34° SD 13 Dapena y Anderst (1997)	63°	12°	♂ 36° SD 12 ♀ 29° SD 14	61° 55°	22° 13°
♀ 33° SD 19 Dapena <i>et al.</i> (1997)	64°	0°			
♂ 44s ¹ ·10 ⁻³ SD 7 (Fase 4) Dapena y Anderst (1997)	57s ¹ ·10 ⁻³	29s ¹ ·10 ⁻³			
♀ 37s ¹ ·10 ⁻³ SD 8 (Fase 4) Dapena <i>et al.</i> (1997)	52s ¹ ·10 ⁻³	22s ¹ ·10 ⁻³			
♂ 17.5Kg·m ² ·10 ⁻³ /Kg·m ² Dapena y Anderst (1997)	24.7Kg·m ² ·10 ⁻	11.2Kg·m ² ·10 ⁻			
♀ 15.2Kg·m ² ·10 ⁻³ /Kg·m ² Dapena <i>et al.</i> (1997)	21.1Kg·m ² ·10 ⁻	9.0Kg·m ² ·10 ⁻			

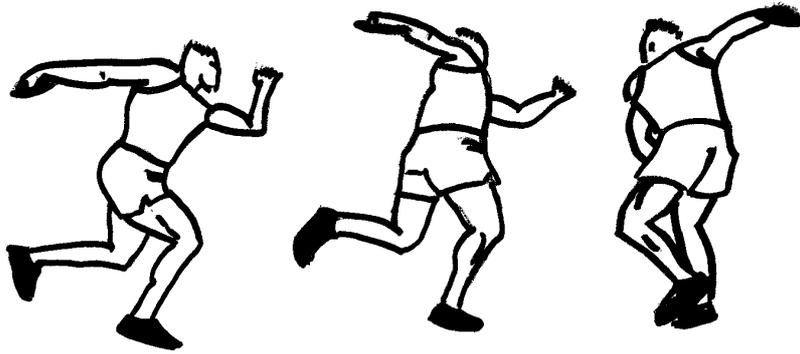
Fase 4 y 5

Tabla 4.17. FASE 4. SEGUNDA FASE DE APO


CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN
Lograr la máxima torsión del lanzador a la vez que el pie izquierdo contacta con el suelo lo más rápidamente posible	Iniciar la aceleración del disco	Velocidad relativa del disco al finalizar la fase	A mayor valor mayor incremento de la velocidad del disco en esta fase
		Incremento de velocidad relativa del disco en esta fase	
		Incremento de velocidad absoluta del disco en esta fase	
		Velocidad absoluta del disco al finalizar la fase	
	Iniciar la transferencia	Momento angular del sistema lanzador+disco sobre el eje vertical al finalizar la fase	A mayor valor, mayor rotación
		Diferencia de momento angular del sistema lanzador+disco sobre el eje vertical en esta fase con respecto a la anterior	
		Momento angular del lanzador sobre el eje vertical al finalizar la fase	A menor valor, mayor transferencia hacia el disco
		Diferencia de momento angular del lanzador sobre el eje vertical en esta fase con respecto a la anterior	
		Momento angular del disco sobre el eje vertical al finalizar la fase	

YO SIMPLE (4)

BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
♂ 0.08m/s SD 1.39 ♀ 1.30m/s SD 1.15 Hay y Yu (1995a)			♂ -1.2m/s SD 1.1 ♀ 0.3m/s SD 1.6	0.7m/s 2.4m/s	-3.1m/s -2.1m/s
♂ 7.64m/s SD 1.63 ♀ 7.89m/s SD 1.30 Hay y Yu (1995a)			♂ 7.3m/s SD 1.3 ♀ 6.3m/s SD 2.1	9.6m/s 9.0m/s	5.5m/s 3.5m/s
♂ 191s ¹ ·10 ⁻³ SD 19 Dapena y Anderst (1997)	227s ¹ ·10 ⁻³	159s ¹ ·10 ⁻³			
♀ 166s ¹ ·10 ⁻³ SD 22 Dapena <i>et al.</i> (1997)	216s ¹ ·10 ⁻³	137s ¹ ·10 ⁻³			
♂ 2s ¹ ·10 ⁻³ SD 10 Dapena y Anderst (1997)	19s ¹ ·10 ⁻³	-23s ¹ ·10 ⁻³			
♀ -2s ¹ ·10 ⁻³ SD 16 Dapena <i>et al.</i> (1997)	29s ¹ ·10 ⁻³	-25s ¹ ·10 ⁻³			
♂ 165s ¹ ·10 ⁻³ SD 17 Dapena y Anderst (1997)	198s ¹ ·10 ⁻³	134s ¹ ·10 ⁻³			
♀ 147s ¹ ·10 ⁻³ SD 21 Dapena <i>et al.</i> (1997)	196s ¹ ·10 ⁻³	118s ¹ ·10 ⁻³			
♂ -8s ¹ ·10 ⁻³ SD 13 Dapena y Anderst (1997)	10s ¹ ·10 ⁻³	-40s ¹ ·10 ⁻³			
♀ -10s ¹ ·10 ⁻³ SD 17 Dapena <i>et al.</i> (1997)	22s ¹ ·10 ⁻³	-29s ¹ ·10 ⁻³			
♂ 26s ¹ ·10 ⁻³ SD 5 Dapena y Anderst (1997)	33s ¹ ·10 ⁻³	14s ¹ ·10 ⁻³			
♀ 19s ¹ ·10 ⁻³ SD 4 Dapena <i>et al.</i> (1997)	29s ¹ ·10 ⁻³	13s ¹ ·10 ⁻³			

Tabla 4.18. FASE 4. SEGUNDA FASE DE APO

CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN
Lograr la máxima torsión del lanzador a la vez que el pie izquierdo contacta con el suelo lo más rápidamente posible	Inicio de la transferencia de momento angular del lanzador al disco	Diferencia de momento angular del disco sobre el eje vertical en esta fase con respecto a la anterior	A mayor valor, mayor transferencia hacia el disco
		Cociente entre el momento angular del disco sobre el eje vertical y el momento angular del lanzador sobre el eje vertical	A menor valor, mayor protagonismo del lanzador sobre el disco
Impulsar con el pie derecho hacia atrás y a la izquierda para dar continuidad al movimiento	Impulsar con el pie derecho hacia atrás y a la izquierda para dar continuidad al movimiento	Fuerza vertical máxima	A mayor valor hacia arriba, delante y derecha, mayor continuidad del movimiento
		Impulso mecánico horizontal	
		Impulso mecánico medio-lateral	
Rotar hacia la dirección de lanzamiento desde el miembro inferior en apoyo (derecho)	Rotar hacia la dirección de lanzamiento desde el miembro inferior en apoyo (derecho)	Diferencia de velocidad horizontal del centro de masas del sistema lanzador+disco al inicio y final de la fase	A menor valor, mayor continuidad del movimiento
		Momento de rotación interna de cadera derecha	A mayor valor, mayor continuidad del movimiento
Momento de extensión de la rodilla derecha			
Alejar el disco del eje de giro	Alejar el disco del eje de giro	Valor medio de la distancia horizontal entre el centro de masas del sistema lanzador+disco y el disco	A mayor valor, mayor alejamiento
Elevar el disco cercano a la altura de la cabeza	Elevar el disco cercano a la altura de la cabeza	Altura máxima alcanzada por el disco en esta fase	A mayor valor, mayor altura
		Porcentaje, respecto a la estatura del sujeto, de la altura máxima del disco	
		Ángulo de abducción del hombro en el instante de altura máxima del disco	

YO SIMPLE (5)

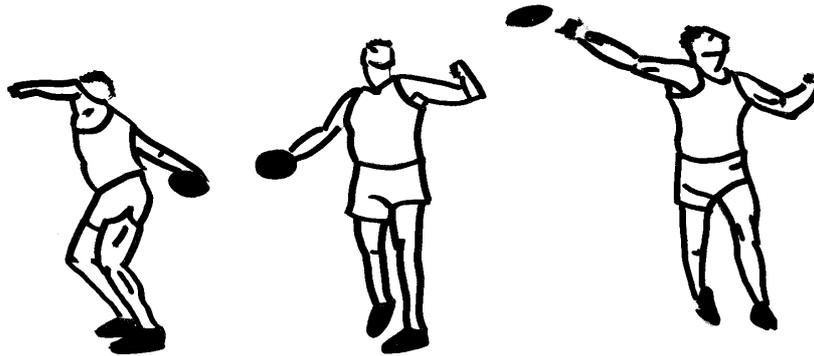
BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
♂ $10s^1 \cdot 10^{-3}$ SD 4 Dapena y Anderst (1997)	$20s^1 \cdot 10^{-3}$	$4s^1 \cdot 10^{-3}$			
♀ $8s^1 \cdot 10^{-3}$ SD 4 Dapena <i>et al.</i> (1997)	$14s^1 \cdot 10^{-3}$	$1s^1 \cdot 10^{-3}$			
♂ 0.16 SD 0.03 Dapena y Anderst (1997)	0.22	0.09			
♀ 0.13 SD 0.03 Dapena <i>et al.</i> (1997)	0.21	0.10			
♂ -0.4m/s SD 0.2 Dapena y Anderst (1997)	0.2m/s	-0.9m/s			
♀ -0.4m/s SD 0.4 Dapena <i>et al.</i> (1997)	0.3m/s	-1.1m/s			
♂ elite 1.55m SD 0.13 ♂ júnior 1.41m SD 0.15 Silvester y McCoy (1995)			♂ 1.55m SD 0.12 ♀ 1.40m SD 0.15	1.72m 1.65m	1.33m 1.25m
♂ 1.63m SD 0.17 ♀ 1.51 SD 0.10 Susanka <i>et al.</i> (1988)	1.86m 1.68m	1.40m 1.40m			
♂ elite 80.4% SD 6.2 ♂ júnior 75.5% SD 6.3 Silvester y McCoy (1995)					
			♂ 68° SD 10 ♀ 71° SD 15	85° 91°	53° 49°

Tabla 4.19. FASE 4. SEGUNDA FASE DE APO

CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN
Lograr la máxima torsión del lanzador a la vez que el pie izquierdo contacta con el suelo lo más rápidamente posible	Comenzar a rotar hacia la dirección de lanzamiento desde las caderas hacia los pies	Instante de tiempo en alcanzar el máximo ángulo entre el eje de caderas y la línea de pies	Primero en alcanzar
		Instante de tiempo en alcanzar el máximo ángulo entre el eje de hombros y la línea de pies	
		Instante de tiempo en alcanzar el máximo ángulo entre el eje de hombros y el eje de caderas	Segundo en alcanzar
		Instante de tiempo en alcanzar el máximo ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y la línea de pies	
		Instante de tiempo en alcanzar el máximo ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de caderas	
		Instante de tiempo en alcanzar el máximo ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de hombros	Tercero en alcanzar

YO SIMPLE (6)

BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
♂ 9.90s SD 0.04 Dapena y Anderst (1997)	9.96s	9.84s	♂ 9.84s SD 0.08 ♀ 9.88s SD 0.09	9.93s 10.00s	9.68s 9.73s
♀ 9.91s SD 0.04 Dapena <i>et al.</i> (1997)	10.00s	9.84s			
♂ 9.92s SD 0.03 Dapena y Anderst (1997)	9.96s	9.84s	♂ 9.91s SD 0.05 ♀ 9.90s SD 0.03	9.97s 9.94s	9.79s 9.86s
♀ 9.91s SD 0.03 Dapena <i>et al.</i> (1997)	9.94s	9.84s			
♂ 9.92 SD 0.05 Dapena y Anderst (1997)	9.98s	9.78s	♂ 9.94s SD 0.07 ♀ 9.94s SD 0.05	10.01s 10.03s	9.79s 9.88s
♀ 9.91s SD 0.04 Dapena <i>et al.</i> (1997)	9.96s	9.80s			
♂ 9.93 SD 0.03 Dapena y Anderst (1997)	9.98s	9.88s	♂ 9.92s SD 0.05 ♀ 9.91s SD 0.06	9.99s 10.00s	9.82s 9.82s
♀ 9.93s SD 0.02 Dapena <i>et al.</i> (1997)	9.98s	9.90s			
♂ 9.95 SD 0.03 Dapena y Anderst (1997)	10.00s	9.88s	♂ 9.98s SD 0.07 ♀ 9.96s SD 0.04	10.06s 10.07s	9.82s 9.90s
♀ 9.97s SD 0.06 Dapena <i>et al.</i> (1997)	10.10s	9.90s			
♂ 10.03 SD 0.07 Dapena y Anderst (1997)	10.14s	9.90s	♂ 10.06s SD 0.06 ♀ 10.09s SD 0.07	10.14s 10.18s	9.94s 9.81s
♀ 10.04s SD 0.07 Dapena <i>et al.</i> (1997)	10.12s	9.88s			

Tabla 4.20. FASE 5. FASE DE SEGUNDO APO

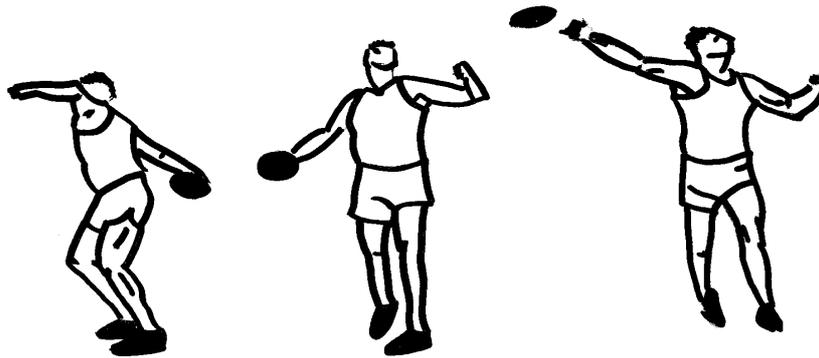
CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN
Transferir la máxima velocidad al disco	Apoyar el pie izquierdo en la frontal del círculo de lanzamiento y a una corta distancia lateral izquierda de la línea de dirección del lanzamiento	Distancia horizontal entre el apoyo izquierdo y el perímetro del círculo de lanzamiento	A menor valor, mayor acercamiento al borde del círculo
		Distancia horizontal entre el apoyo izquierdo y la línea de dirección del lanzamiento	Un valor ligero indica desviación de la línea de lanzamiento
		Ángulo entre línea de pies y la dirección de lanzamiento	Un valor ligero indica una posición abierta
		Distancia horizontal entre los apoyos	Un valor cercano a la anchura de los hombros indica una posición estable
Empujar hacia delante con el pie izquierdo y hacia atrás y hacia la izquierda con el derecho	Apoyo izquierdo	Fuerza de reacción máxima antero-posterior	A mayor valor, mayor empuje hacia delante
		Impulso mecánico antero-posterior	
		Valor máximo de momento de extensión de rodilla izquierda (BW.BH)	
	Apoyo derecho	Fuerza de reacción máxima antero-posterior	A mayor valor, mayor empuje hacia atrás y hacia la izquierda
		Impulso mecánico antero-posterior	
		Fuerza de reacción máxima medio-lateral	
		Impulso mecánico medio-lateral	
		Valor máximo de momento de extensión de rodilla derecha (BW.BH)	
		Valor máximo de momento de rotación interna cadera derecha (BW.BH)	

Tabla 4.21. FASE 5. FASE DE SEGUNDO APO


CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA		CRITERIO DE VALORACIÓN
Transferir la máxima velocidad al disco	Empujar hacia delante con el pie izquierdo y hacia atrás y hacia la izquierda con el derecho	Momento angular del sistema lanzador+disco sobre el eje vertical al finalizar la fase		A mayor valor, mayor rotación y mayor ganancia de rotación
		Diferencia entre el momento angular del sistema lanzador+disco sobre el eje vertical al finalizar esta fase y la anterior		
		Momento angular del lanzador sobre el eje vertical al finalizar la fase		A menor valor, mayor transferencia hacia el disco
		Diferencia entre el momento angular del lanzador sobre el eje vertical al finalizar esta fase y la anterior		
		Momento lineal horizontal del sistema lanzador+disco	Velocidad horizontal del sistema en el apoyo pie izquierdo	A mayor valor, mayor contribución de la velocidad horizontal del lanzador a la velocidad horizontal del disco
			Velocidad horizontal en el último cuarto de giro	
			Velocidad horizontal en la liberación del disco	
			Diferencia entre la velocidad horizontal del sistema entre el apoyo del pie izquierdo y la liberación del disco	A menor valor, menor pérdida de velocidad con respecto a la fase anterior

YO DOBLE (2)

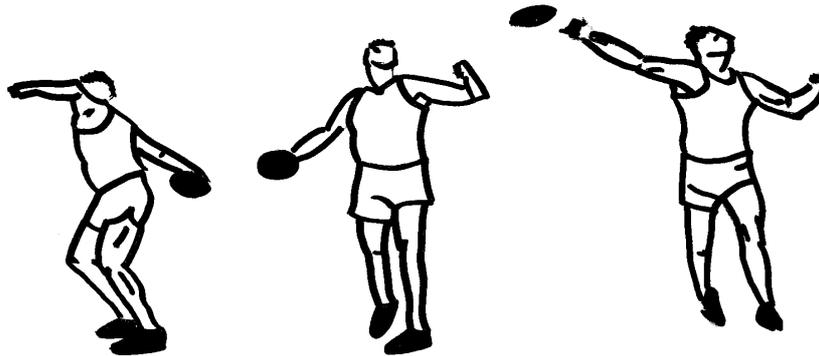
BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
♂ 212s ¹ ·10 ⁻³ SD 21 Dapena y Anderst (1997)	246s ¹ ·10 ⁻³	177s ¹ ·10 ⁻³			
♀ 188s ¹ ·10 ⁻³ SD 23 Dapena <i>et al.</i> (1997)	239s ¹ ·10 ⁻³	155s ¹ ·10 ⁻³			
♂ 21s ¹ ·10 ⁻³ SD 19 Dapena y Anderst (1997)	67s ¹ ·10 ⁻³	-27s ¹ ·10 ⁻³			
♀ 23s ¹ ·10 ⁻³ SD 13 Dapena <i>et al.</i> (1997)	46s ¹ ·10 ⁻³	-8s ¹ ·10 ⁻³			
♂ 138s ¹ ·10 ⁻³ SD 15 Dapena y Anderst (1997)	167s ¹ ·10 ⁻³	105s ¹ ·10 ⁻³			
♀ 134s ¹ ·10 ⁻³ SD 17 Dapena <i>et al.</i> (1997)	172s ¹ ·10 ⁻³	113s ¹ ·10 ⁻³			
♂ -26s ¹ ·10 ⁻³ SD 18 Dapena y Anderst (1997)	9s ¹ ·10 ⁻³	-72s ¹ ·10 ⁻³			
♀ -13s ¹ ·10 ⁻³ SD 15 Dapena <i>et al.</i> (1997)	12s ¹ ·10 ⁻³	-34s ¹ ·10 ⁻³			
♂ 2.0m/s SD 0.2 Dapena y Anderst (1997)	2.4m/s	1.5m/s			
♀ 2.0m/s SD 0.3 Dapena <i>et al.</i> (1997)	2.3m/s	1.5m/s			
♂ 1.3m/s SD 0.2 Dapena y Anderst (1997)	1.7m/s	0.7m/s			
♀ 1.2m/s SD 0.3 Dapena <i>et al.</i> (1997)	1.8m/s	0.7m/s			
♂ 1.3m/s SD 0.3 Dapena y Anderst (1997)	1.8m/s	-0.5m/s			
♀ 1.2m/s SD 0.3 Dapena <i>et al.</i> (1997)	1.7m/s	0.6m/s			
♂ -0.7m/s SD 0.3 Dapena y Anderst (1997)	-0.2m/s	-1.3m/s			
♀ -0.8m/s SD 0.3 Dapena <i>et al.</i> (1997)	0.0m/s	-1.3m/s			

Tabla 4.22. FASE 5. FASE DE SEGUNDO APO

CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA		CRITERIO DE VALORACIÓN
Transferir la máxima velocidad al disco	Empujar hacia delante con el pie izquierdo y hacia atrás y hacia la izquierda con el derecho	Momento lineal horizontal del sistema lanzador+disco	Dirección de movimiento del sistema en el apoyo pie izquierdo	A menor valor en la divergencia entre el movimiento del lanzador y del disco, mayor contribución de velocidad horizontal del lanzador a la velocidad horizontal del disco
			Dirección de movimiento del sistema en el último cuarto de giro	
			Dirección de movimiento del sistema en la liberación	
			Dirección de movimiento del disco en la liberación	
			Divergencia de ángulo entre la dirección horizontal del sistema durante el último cuarto de giro y la dirección horizontal del disco en la liberación	
			Contribución efectiva del movimiento lineal horizontal a la velocidad horizontal de liberación del disco	

YO DOBLE (3)

BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
♂ -17° SD 10 Dapena y Anderst (1997)	8°	-40°			
♀ -16° SD 7 Dapena <i>et al.</i> (1997)	-6°	-34°			
♂ -18° SD 11 Dapena y Anderst (1997)	15°	-39°			
♀ -16° SD 13 Dapena <i>et al.</i> (1997)	9°	-41°			
♂ -22° SD 13 Dapena y Anderst (1997)	12°	-45°			
♀ -21° SD 14 Dapena <i>et al.</i> (1997)	7°	-55°			
♂ -22° SD 16 Dapena y Anderst (1997)	15°	-48°			
♀ -22° SD 12 Dapena <i>et al.</i> (1997)	-5°	-43°			
♂ 4° SD 9 Dapena y Anderst (1997)	25°	-6°			
♀ 6° SD 7 Dapena <i>et al.</i> (1997)	18°	-9°			
♂ 1.2m/s SD 0.2 Dapena y Anderst (1997)	1.7m/s	0.7m/s			
♀ 1.1m/s SD 0.3 Dapena <i>et al.</i> (1997)	1.7m/s	0.6m/s			

Tabla 4.23. FASE 5. FASE DE SEGUNDO APO

CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO		VARIABLE BIOMECÁNICA		CRITERIO DE VALORACIÓN	
Transferir la máxima velocidad al disco	Empujar hacia abajo con las piernas izquierda y derecha	Apoyo izquierdo	Fuerza de reacción vertical máxima		A mayor valor, mayor empuje hacia abajo	
		Apoyo derecho	Fuerza de reacción vertical máxima			
				Momento angular del sistema lanzador+disco sobre el eje horizontal cuando se alcanza el momento angular máximo del lanzador sobre el eje horizontal		A mayor valor, mayor rotación
				Momento angular máximo del lanzador sobre el eje horizontal		
				Momento lineal vertical del sistema lanzador+disco	Velocidad vertical del sistema en el apoyo pie izquierdo	A mayor valor, mayor contribución de la velocidad vertical del lanzador a la velocidad vertical del disco
				Velocidad vertical del sistema en la liberación		
			Velocidad de contribución vertical			
	Balancear el miembro superior libre (izquierdo) rápido, alejado y sobre un rango de movimiento amplio	Valor medio del momento angular del miembro superior libre sobre el eje vertical		A mayor valor, mayor apertura amplia y rápida del miembro superior libre		
		Acción del miembro superior libre. Integral respecto al tiempo del momento angular del miembro superior libre sobre el eje vertical				

YO DOBLE (4)

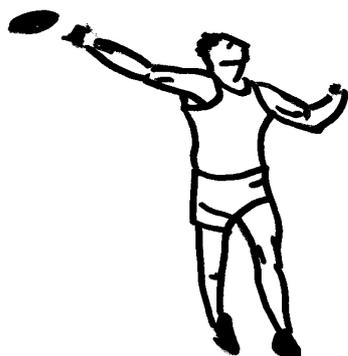
BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
♂ 100s ¹ ·10 ⁻³ SD 14 Dapena y Anderst (1997)	125s ¹ ·10 ⁻³	66s ¹ ·10 ⁻³			
♀ 80s ¹ ·10 ⁻³ SD 16 Dapena <i>et al.</i> (1997)	111s ¹ ·10 ⁻³	55s ¹ ·10 ⁻³			
♂ 89s ¹ ·10 ⁻³ SD 14 Dapena y Anderst (1997)	109s ¹ ·10 ⁻³	57s ¹ ·10 ⁻³			
♀ 73s ¹ ·10 ⁻³ SD 15 Dapena <i>et al.</i> (1997)	98s ¹ ·10 ⁻³	50s ¹ ·10 ⁻³			
♂ 0.0m/s SD 0.2 Dapena y Anderst (1997)	0.4m/s	-0.4m/s			
♀ 0.0m/s SD 0.2 Dapena <i>et al.</i> (1997)	0.4m/s	-0.4m/s			
♂ 1.4m/s SD 0.3 Dapena y Anderst (1997)	2.0m/s	0.6m/s			
♀ 1.1m/s SD 0.3 Dapena <i>et al.</i> (1997)	1.7m/s	0.6m/s			
♂ 1.4m/s SD 0.3 Dapena y Anderst (1997)	1.9m/s	0.6m/s			
♀ 1.1m/s SD 0.3 Dapena <i>et al.</i> (1997)	1.7m/s	0.7m/s			
♂ 44s ¹ ·10 ⁻³ SD 7 Dapena y Anderst (1997)	57s ¹ ·10 ⁻³	29s ¹ ·10 ⁻³			
♀ 37s ¹ ·10 ⁻³ SD 4 Dapena <i>et al.</i> (1997)	52s ¹ ·10 ⁻³	22s ¹ ·10 ⁻³			
					Fase 4 y 5
♂ 17.5Kg·m ² ·10 ⁻³ /Kg·m ² Dapena y Anderst (1997)	24.7Kg·m ² ·10 ⁻³	11.2Kg·m ² ·10 ⁻³			
♀ 15.2Kg·m ² ·10 ⁻³ /Kg·m ² Dapena <i>et al.</i> (1997)	21.1Kg·m ² ·10 ⁻³	9.0Kg·m ² ·10 ⁻³			
					Fase 4 y 5

Tabla 4.24. FASE 5. FASE DE SEGUNDO APO

CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN
Transferir la máxima velocidad al disco	Recobrar el miembro superior libre (izquierdo), reduciendo la velocidad de rotación y acercándolo hacia el lado izquierdo del cuerpo	Valor máximo del momento angular del miembro superior libre sobre el eje vertical	A menor valor, mayor acción de recobro del miembro superior libre
		Valor en el instante de liberación del momento angular del miembro superior libre sobre el eje vertical	
		Diferencia entre el valor alcanzado en la liberación y el valor máximo	
Llevar el disco desde abajo hacia arriba		Altura mínima al suelo del disco alcanzada en esta fase	A menor valor, menor altura lograda
		Ángulo de abducción del hombro en el instante de altura mínima del disco	
		Diferencia de altura mínima – altura de liberación	A mayor valor, mayor desplazamiento del disco en el eje vertical
		Porcentaje, respecto a la estatura del sujeto, de la diferencia de altura	

YO DOBLE (5)

BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
♂ $61s^1 \cdot 10^{-3}$ SD 10 Dapena y Anderst (1997)	$78s^1 \cdot 10^{-3}$	$42s^1 \cdot 10^{-3}$			
♀ $53s^1 \cdot 10^{-3}$ SD 10 Dapena <i>et al.</i> (1997)	$68s^1 \cdot 10^{-3}$	$32s^1 \cdot 10^{-3}$			
♂ $22s^1 \cdot 10^{-3}$ SD 7 Dapena y Anderst (1997)	$38s^1 \cdot 10^{-3}$	$7s^1 \cdot 10^{-3}$			
♀ $24s^1 \cdot 10^{-3}$ SD 8 Dapena <i>et al.</i> (1997)	$41s^1 \cdot 10^{-3}$	$11s^1 \cdot 10^{-3}$			
♂ $-39s^1 \cdot 10^{-3}$ SD 8 Dapena y Anderst (1997)	$-26s^1 \cdot 10^{-3}$	$-55s^1 \cdot 10^{-3}$			
♀ $-29s^1 \cdot 10^{-3}$ SD 9 Dapena <i>et al.</i> (1997)	$-14s^1 \cdot 10^{-3}$	$-41s^1 \cdot 10^{-3}$			
♂ elite 0.80m SD 0.08 ♂ júnior 0.90m SD 0.11 Silvestre y McCoy (1995)			♂ 0.78m SD 0.09 ♀ 0.77m SD 0.08	0.89m 0.88m	0.58m 0.62m
♂ 0.87m SD 0.13 ♀ 0.77m SD 0.11 Susanka <i>et al.</i> (1988)	1.07m 0.94m	0.71m 0.60m			
			♂ 49° SD 9 ♀ 49° SD 7	68° 61°	37° 39°
♂ 0.55m SD 0.10 ♀ 0.52m SD 0.14 Susanka <i>et al.</i> (1988)	0.72m 0.71m	0.46m 0.25m	♂ 0.71m SD 0.19 ♀ 0.63m SD 0.14	1.00m 0.87m	0.44m 0.44m

Tabla 4.25. INSTANTE DE LIBERACIÓN (1)

CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN
Alcanzar unas condiciones óptimas de liberación del disco	Completar con el lado derecho el giro alrededor del lado izquierdo	Ángulo entre el eje de caderas y la línea de pies en el instante de liberación	Valores cercanos a cero indica que se ha completado el giro al estar ambos ejes en paralelo
		Ángulo entre el eje de hombros y la línea de pies en el instante de liberación	
		Ángulo entre el miembro superior ejecutor y la línea de pies en el instante de liberación	
		Ángulo entre el eje de hombros y el eje de caderas en el instante de liberación	
		Ángulo entre el miembro superior ejecutor y el eje de caderas en el instante de liberación	
		Ángulo entre el miembro superior ejecutor y el eje de hombros en el instante de liberación	
	Extender completamente la rodilla del miembro inferior izquierdo	Ángulo de flexo-extensión de la rodilla del miembro inferior izquierdo	A menor valor, mayor extensión
	No inclinar el tronco	Ángulo de flexo-extensión del tronco	Valores cercanos a 90° indica que no hay inclinación

BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
♂ 77° SD 13 Dapena y Anderst (1997) ♀ 77° SD 15 Dapena <i>et al.</i> (1997)	95° 97°	57° 44°	♂ -81° SD 17 ♀ -82° SD 11	-48° -69°	-114° -100°
♂ 85° SD 7 Dapena y Anderst (1997) ♀ 82° SD 13 Dapena <i>et al.</i> (1997)	101° 114°	57° 59°	♂ -95° SD 14 ♀ -83° SD 15	-72° -62°	-118° -114°
♂ 90° SD 9 Dapena y Anderst (1997) ♀ 86° SD 15 Dapena <i>et al.</i> (1997)	110° 108°	74° 62°	♂ -95° SD 11 ♀ -88° SD 16	-78° -58°	-122° -120°
♂ 9° SD 10 Dapena y Anderst (1997) ♀ 6° SD 19 Dapena <i>et al.</i> (1997) ♀ 5° SD 15 Susanka <i>et al.</i> (1988)	28° 43° 28°	-16° -21° -20°	♂ -14° SD 17 ♀ -1° SD 12	9° 36°	-55° -17°
♂ 13° SD 18 Dapena y Anderst (1997) ♀ 10° SD 23 Dapena <i>et al.</i> (1997)	47° 63°	-18° -26°	♂ -14° SD 19 ♀ -6° SD 14	20° 28°	-47° -22°
♂ 5° SD 10 Dapena y Anderst (1997) ♀ 4° SD 10 Dapena <i>et al.</i> (1997)	25° 20°	-15° -14°	♂ 0° SD 10 ♀ -5° SD 6	19° 6°	-20° -13°
			♂ 13° SD 8 ♀ 10° SD 4	28° 17°	3° 2°
♂ 97.5° SD 6.5 ♀ 97.5° SD 2.9 Gregor <i>et al.</i> (1985) ♀ -0.12m SD 0.05 (Atrás) Susanka <i>et al.</i> (1988) ♂ elite 96.1° SD 5.4 ♂ júnior 99.0° SD 6.4 Silvestre y McCoy (1995)	106.8° 103.3° -0.03m	85.5° 94.1° -0.18m	♂ 102° SD 8 ♀ 99° SD 8	118° 116°	93° 87°

Tabla 4.26. INSTANTE DE LIBERACIÓN (2)

CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN	
Alcanzar unas condiciones optimas de liberación del disco	No inclinar el tronco	Ángulo de inflexión lateral del tronco	Valores cercanos a 0° indica que no hay inclinación	
		Distancia horizontal entre el disco y centro de masas del sistema lanzador+disco	A mayor valor, mayor alejamiento	
		Porcentaje, respecto a la estatura del sujeto, de la distancia horizontal entre el disco y centro de masas del sistema lanzador+disco		
	Despegue pies	Instante de despegue de los pies en relación al instante de liberación	No hay criterio claro	
	Liberar el disco por encima de la altura de los hombros		Altura liberación del disco	A mayor valor, mayor altura de liberación del disco
			Porcentaje de la altura de liberación del disco con respecto a la talla del sujeto	
Ángulo de abducción del hombro del lado ejecutor				

BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
♀ 0.02m SD 0.13 Susanka <i>et al.</i> (1988) ♂ elite 85.8° SD 6.7 ♂ júnior 84.5° SD 9.0 Silvestre y McCoy (1995)	0.24m	-0.14m	♂ 93° SD 12 ♀ 85° SD 9	113° 93°	76° 67°
♂ elite 1.05m SD 0.08 ♂ júnior 0.98m SD 0.08 Silvestre y McCoy (1995)					
♂ elite 53.6% SD 2.9 ♂ júnior 52.2% SD 4.1 Silvestre y McCoy (1995)					
			♂ 0.02s SD 0.03 ♀ 0.02s SD 0.03	0.08s 0.06s	0.00s 0.00s
♂ 1.71m SD 0.11 Dapena y Anderst (1997)	1.94m	1.49m	♂ 1.49m SD 0.20 ♀ 1.40m SD 0.11	1.75m 1.57m	1.06m 1.18m
♀ 1.57m SD 0.15 Dapena <i>et al.</i> (1997) ♂ 1.42m SD 0.17 ♀ 1.29m SD 0.17 Susanka <i>et al.</i> (1988)	1.79m 1.67m 1.52m	1.28m 1.18m 1.03m			
♂ 89.5% SD 5.9 Dapena y Anderst (1997) ♀ 88.1% SD 6.1 Dapena <i>et al.</i> (1997)	101.5% 97.0%	80.5% 76.0%			
♂ elite 108.3° SD 8.2 ♂ júnior 97.2° SD 9.6 Silvestre y McCoy (1995)			♂ 80° SD 9 ♀ 79° SD 9	95° 90°	59° 58°

Tabla 4.27. INSTANTE DE LIBERACIÓN (3)


CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN
Alcanzar unas condiciones óptimas de liberación del disco	Liberar el disco a la máxima velocidad	Incremento de velocidad absoluta del disco en Fase 5	A mayor valor, mayor velocidad de liberación
		Velocidad resultante del disco en la liberación	
		Velocidad horizontal del disco en la liberación	
		Velocidad vertical del disco en la liberación	
Liberar el disco con un óptimo ángulo	Liberar el disco con un óptimo ángulo	Ángulo de liberación	El ángulo óptimo depende de la altura y velocidad de liberación
		Ángulo de inclinación	Entre 5 y 10° menor al ángulo de liberación
		Ángulo de ataque	Entre -9° y -10°
Liberar el disco próximo al perímetro del círculo de lanzamiento	Liberar el disco próximo al perímetro del círculo de lanzamiento	Distancia perdida	A menor valor, más próximo al borde del círculo se libera el disco
Aprovechar las fuerzas aerodinámicas	Aprovechar las fuerzas aerodinámicas	Distancia Oficial	A mayor valor, mayores distancias de lanzamiento
		Distancia teórica balística	
		Distancia de vuelo	
		Distancia aerodinámica	

BIBLIOGRAFÍA			TESIS		
Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
♂ 16.16m/s SD 1.57 ♀ 15.34m/s SD 1.39 Hay y Yu (1995a)			♂ 15.5m/s SD 1.7 ♀ 16.0m/s SD 2.3	18.6m/ 19.1m/	12.7m/s 12.2m/s
♂ 23.6m/s SD 0.6 Dapena y Anderst (1997) ♀ 22.8m/s SD 0.9 Dapena <i>et al.</i> (1997)	24.7m/s 24.9m/s	22.0m/s 21.4m/s	♂ 22.8m/s SD 1.1 ♀ 22.3m/s SD 0.7	24.8m/ 23.3m/	21.0m/s 21.0m/s
♂ 19.3m/s SD 0.8 Dapena y Anderst (1997) ♀ 18.7m/s SD 1.0 Dapena <i>et al.</i> (1997)	20.6m/s 21.0m/s	17.4m/s 16.9m/s	♂ 18.0m/s SD 1.2 ♀ 18.0m/s SD 1.1	20.0m/ 19.3m/	15.9m/s 15.5m/s
♂ 13.6m/s SD 1.1 Dapena y Anderst (1997) ♀ 13.0m/s SD 0.8 Dapena <i>et al.</i> (1997)	15.6m/s 14.4m/s	11.5m/s 11.5m/s	♂ 13.9m/s SD 1.0 ♀ 13.1m/s SD 0.9	15.1m/ 14.3m/	12.3m/s 11.9m/s
♂ 35° SD 3 Dapena y Anderst (1997) ♀ 35° SD 2 Dapena <i>et al.</i> (1997)	42° 39°	30° 31°	♂ 38° SD 3 ♀ 36° SD 3	43° 42°	33° 32°
♂ 0.39m SD 0.21 ♀ 0.42m SD 0.22 Hay y Yu (1995a)			♂ -0.03m SD 0.13 ♀ -0.28m SD 0.21	0.20m 0.12m	-0.24m -0.51m
♂ 59.07m SD 4.43 ♀ 57.90m SD 7.51 Hay y Yu (1995a)			♂ 52.97m SD 4.00 ♀ 52.01m SD 2.12	62.00m 54.32m	47.52m 47.14m
♂ 55.49m SD 3.38 Dapena y Anderst (1997) ♀ 51.34m SD 3.93 Dapena <i>et al.</i> (1997)	62.00m 59.77m	46.38m 44.35m	♂ 52.78m SD 4.86 ♀ 49.91m SD 3.11	61.68m 55.64m	45.81m 46.42m
♂ 59.46m SD 4.38 ♀ 58.32m SD 7.64 Hay y Yu (1995a)			♂ 53.00m SD 4.00 ♀ 52.28m SD 2.11	62.02m 54.56m	47.45m 47.31m
♂ 2.42m SD 3.29 ♀ 4.05m SD 3.15 Hay y Yu (1995a) ♂ 2.95m SD 3.02 Dapena y Anderst (1997) ♀ 4.83m SD 3.07 Dapena <i>et al.</i> (1997)	7.26m 11.72m 8.31m 10.96m	-3.57m -0.48m -4.12m -0.31m	♂ 0.22m SD 2.52 ♀ 2.38m SD 3.06	4.60m 5.41m	-4.72m -3.39m

El cuadro propuesto en este trabajo es novedoso por no existir en la bibliografía consultada un diseño similar para el técnico de lanzamiento de disco. En él se proponen relaciones entre aspectos técnicos críticos observables por los técnicos deportivos y variables biomecánicas medidas con fiabilidad y precisión; además se proporcionan valores reales de esas mismas variables cuantificadas en lanzadores de disco de cierto nivel. Existen en la bibliografía consultada diferentes cuadros para el análisis de la técnica del lanzamiento de disco (McGill, 1983; Bottcher, 1993; Altmeyer, 1994; Tidow, 1994; Waters, 1994). McGill (1983), Tidow (1994) y Waters (1994) propusieron listas control con una escala de puntuación que servían para evaluar aspectos técnicos planteados por los mismos autores. Ofrecer una escala de valores como método de evaluación facilita y simplifica su utilización, pero por el contrario, le otorga de una disposición de subjetividad del evaluador. Para contrarrestar la subjetividad presente en la evaluación de la técnica se utilizan las variables biomecánicas. Bottcher (1993) y Altmeyer (1994) incluyeron en sus hojas de control técnico la medición de variables biomecánicas para evaluar aspectos técnicos críticos. Estas variables biomecánicas hacían referencia al patrón articular que debía adoptar el lanzador en ciertos instantes críticos seleccionados por los propios autores. Los autores apoyaban el uso de estos parámetros biomecánicos aportando un rango que incluían los valores aconsejados. Sin duda la inclusión de variables biomecánicas y una aproximación a los valores óptimos inspiraban a las hojas de control técnico de un cierto grado de objetividad. Con todo, éstas contenía únicamente variables biomecánicas que cuantificaban el patrón articular en instantes concretos omitiendo aquellos parámetros biomecánicos que hacen referencia a variables de patrón articular respecto al tiempo, a variables espaciales y a variables espacio-temporales. El *Cuadro de Indicadores de Eficacia* propuesto en este trabajo contiene una amplia diversidad de variables biomecánicas además de rangos de datos reales que permiten una valoración más objetiva de la técnica del lanzamiento de disco.

Como resultado de la construcción de este *Cuadro de Indicadores de Eficacia* del lanzamiento de disco se obtuvieron los siguientes resultados:

- Permitir relacionar el lenguaje de los técnicos deportivos con el de los biomecánicos. En este cuadro se relacionaron aspectos técnicos que utilizan los

técnicos deportivos para enseñar, corregir y perfeccionar la técnica, con variables biomecánicas que representan indicadores de eficacia.

- Facilitar la interpretación de variables biomecánicas. En este cuadro a las variables biomecánicas se les anexaron resultados analizados y valorados utilizando para ello sofisticadas técnicas cinemáticas de registro y análisis.
- Permitir comprender la biomecánica del lanzamiento de disco. El cuadro ayuda a los técnicos deportivos a asimilar aspectos biomecánicos de difícil interpretación dado que éstos se vincularon a aspectos técnicos utilizados habitualmente por los técnicos deportivos.
- Permitir una valoración objetiva. Se presentaron con precisión la forma de calcular las variables biomecánicas propuestas.
- Permitir contrastar resultados. En el *Cuadro de Indicadores de Eficacia* se presentan con claridad datos de las variables propuestas con el fin de que el técnico deportivo los consulte e interprete los valores de sus atletas. Los resultados que se muestran provienen tanto de la bibliografía consultada como del presente trabajo; por lo tanto, se puede obtener referencia del atleta analizado con relación al nivel nacional y al nivel internacional.

Con el diseño de este cuadro se abren nuevas líneas de investigación por un lado encaminadas a optimizar el proceso de retroalimentación biomecánica dirigida hacia técnico deportivo y atletas, y por otro contribuir a profundizar el estudio biomecánico del lanzamiento de disco.

4.2 DESCRIPCIÓN BIOMECÁNICA DEL MODELO TÉCNICO

Para la descripción del modelo técnico se atenderá a las mismas fases en las que se ha dividido el lanzamiento de disco en el diseño del *Cuadro de Indicadores de Eficacia*. En cada apartado se presentan y discuten los datos obtenidos en este trabajo. Los datos que se comentan en este apartado son los valores medios de los lanzamientos analizados en este trabajo tanto para la categoría masculina como para la femenina. Además, en la discusión de cada variable se incluyen datos pertenecientes a la bibliografía para su comparación con los obtenidos en este

trabajo. Se debe señalar que la confrontación de datos entre estudios diferentes se debe realizar con cautela debido a que cada grupo de investigación tiene sus propios criterios y técnicas de registro de datos. Este mismo problema ya fue expuesto por Grande (2000) en el caso concreto del lanzamiento de peso.

Este trabajo estuvo más interesado en clarificar los mecanismos que operan en la ejecución del lanzamiento de disco, más allá del perfil de la elite de los lanzadores de disco españoles. Estos mecanismos operarían en todos los lanzamientos válidos ejecutados durante la competición y no solamente en los mejores lanzamientos de cada atleta. Por esta razón, este trabajo presenta datos de todos los lanzamientos válidos de cada competidor y no sólo de su mejor lanzamiento. Aunque los peligros de combinar varios lanzamientos de un atleta están subrayados por Hay (1987), éstos son contrarrestados usando coeficientes de ponderación.

Proporcionar datos descriptivos y asociaciones entre variables puede ayudar a reforzar el modelo técnico del lanzamiento de disco propuesto en este trabajo. Así y todo, debe de ser destacado que las relaciones encontradas deberían ser consideradas casuales antes que causales. Las relaciones encontradas permanecerán casuales hasta que estas puedan ser interrelacionadas con alguna teoría predictiva de la relación; si la relación encontrada estuviera soportada por la teoría del modelo técnico, las relaciones podrían ser consideradas evidencias de una relación causa – efecto. No obstante es probable que las relaciones postuladas serán siempre equívocas para esta muestra, y esta aproximación puede ser incapaz de revelar relaciones causa – efecto verdaderas.

4.2.1 FASE DE VUELO

La *Fase de Vuelo* tuvo una duración en la categoría masculina de 0.06s SD 0.03. La duración máxima fue 0.13s y la mínima fue 0.01s. En categoría femenina, la duración de la misma fase fue 0.10s SD 0.04, la duración máxima fue 0.16s y la mínima fue 0.04s. En ambas categorías esta fue la fase de menor duración del lanzamiento con un 4% SD 2 del total en categoría masculina y un 7% SD 3 del total en categoría femenina.

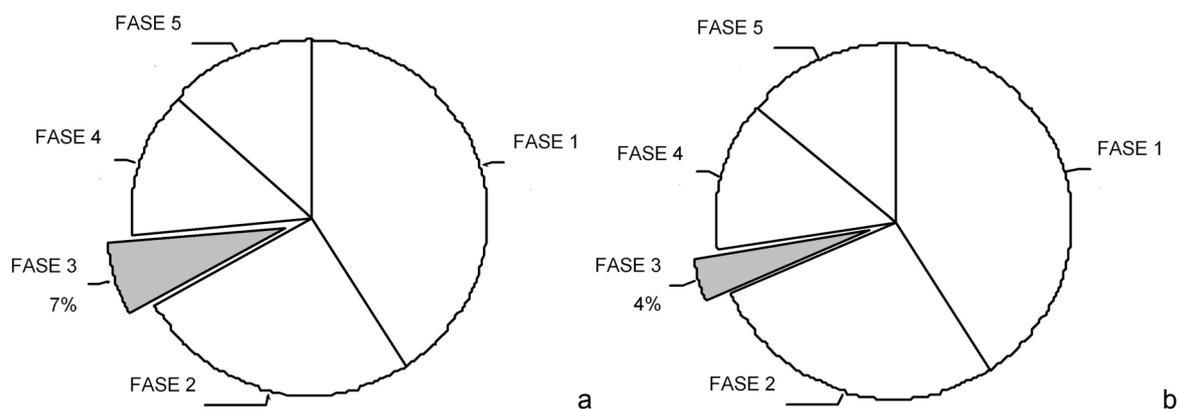


Figura 4.1. Porcentaje del tiempo de duración de la *Fase de Vuelo* respecto al total en categoría femenina (a) y en categoría masculina (b).

Los resultados mostraron una concordancia general con lo expuesto en el apartado de *Revisión Bibliográfica*, en el que se mencionaba que entre los técnicos deportivos se recomendaba como requisito técnico para alcanzar el éxito en el lanzamiento que la duración de la *Fase de Vuelo* debería ser la mínima posible al tratarse de una fase de transición entre apoyos (Buhantsov y Papanov, 1988; Tidow, 1994; Bartonietz y cols. 1996; Knowles, 1997).

Los resultados de este trabajo mostraron que la *Fase de Vuelo* fue la más corta de todas las fases, estando esta brevedad en concordancia con el criterio de los técnicos deportivos.

En este trabajo las correlaciones encontradas entre el tiempo empleado en la *Fase de Vuelo* y la distancia oficial (tabla 1) tuvieron una relación inversa, a menor tiempo de vuelo, mayor distancia oficial lanzada; pero la magnitud fue débil en categoría masculina ($r = -0.015$) y moderada en categoría femenina ($r = -0.313$). La escasa fuerza de la asociación encontrada entre las variables provocó que no existiera una correlación significativamente estadística. Por lo tanto, en los resultados de este trabajo no se observaron evidencias a favor de que existiese un alto grado de relación entre el tiempo de la *Fase de Vuelo* y la distancia oficial.

Por otro lado y, en ambas categorías, las magnitudes de las correlaciones entre el tiempo de la *Fase de Vuelo* y la velocidad resultante de liberación del disco fueron débiles y no tuvieron significación estadística en ninguno de los casos estudiados (tabla 4.28).

Tabla 4.28. Coeficientes de correlación y grado de significación de las relaciones estudiadas con el tiempo de la *Fase de Vuelo*.

Variable I	Variable II	Sexo	Coeficiente de correlación	Sig. (bilateral)	N
T_VUELO	d ₀	♂	$r = 0.082$	$p = 0.789$	13
		♀	$r = -0.313$	$p = 0.321$	12
	V _{DISCOlib}	♂	$r = -0.096$	$p = 0.756$	13
		♀	$r = -0.295$	$p = 0.351$	12
	θ_CAD_PIES _{APD}	♂	$r = -0.180$	$p = 0.556$	13
		♀	$r = 0.281$	$p = 0.377$	12
	θ_HOMB_PIES _{APD}	♂	$r = 0.124$	$p = 0.687$	13
		♀	$r = 0.469$	$p = 0.124$	12
	θ_BRAZO_PIES _{APD}	♂	$r = 0.103$	$p = 0.737$	13
		♀	$r = 0.456$	$p = 0.137$	12
	θ_HOMB_CAD _{APD}	♂	$r = 0.210$	$p = 0.492$	13
		♀	$r = 0.663$	$p = 0.019$	12
	θ_BRAZO_CAD _{APD}	♂	$r = 0.248$	$p = 0.415$	13
		♀	$r = 0.689$	$p = 0.013$	12
	θ_BRAZO_HOMB _{APD}	♂	$r = -0.034$	$p = 0.913$	13
		♀	$r = 0.500$	$p = 0.098$	12

r : coeficiente de correlación de Pearson. Se señalan en negrita las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de $p < 0.05$. ♂: sexo masculino. ♀: sexo femenino.

Los resultados de este trabajo están en concordancia con los estudios científicos que aparecieron en la bibliografía consultada (Schlüter y Nixdorf, 1984; Knicker, 1994a; 1994b). Los autores tampoco encontraron una relación clara entre estas mismas variables. Los resultados de este trabajo junto con los de la bibliografía indican que en las muestras estudiadas no parece que sea muy sensible la relación entre el tiempo que emplean los atletas en realizar la *Fase de Vuelo* y el resultado final del lanzamiento. La posible causa de la discrepancia de criterio entre técnicos deportivos y los resultados de los diferentes trabajos podría ser debida a un rango de variación muy pequeño en los valores de tiempo de la *Fase de Vuelo* y a la amplia variabilidad de factores de los que dependen los parámetros finales del lanzamiento.

Aunque observamos que los lanzadores y lanzadoras realizaban *Fases de Vuelo* cortas, una mínima duración podría dificultar la consecución de metas posteriores. Susanka y cols. (1988) en su estudio indicaron que una marcada reducción de la *Fase de Vuelo* podría hacer más difícil alcanzar una torsión suficiente al finalizar la fase, que es el objetivo a conseguir al concluir esta.

Dapena y colaboradores (Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997) consideraron que el ángulo que forman la línea del miembro superior ejecutor (derecho) relativo a la línea que forman los pies era el ángulo de torsión más interesante de valorar, denominándolo “*Ángulo de Torsión Total del Sistema*”. Esta nomenclatura está justificada porque este ángulo es el resultado de la suma del ángulo eje caderas relativo a la línea de pies y el ángulo eje de hombros relativo al eje de caderas y el ángulo que forman la línea del miembro superior ejecutor (derecho) relativa al eje de hombros.

Teniendo presente los párrafos anteriores, parecería lógico encontrar una relación positiva entre el tiempo de la *Fase de Vuelo* y el “*Ángulo de Torsión Total del Sistema*”. En el presente trabajo, tanto en categoría masculina como en femenina, no se encontraron correlaciones positivas estadísticamente significativas entre los dos parámetros anteriores. No obstante, en categoría femenina la magnitud del coeficiente de correlación fue más elevada que en categoría masculina rozando ésta la significación estadística. La posible explicación se puede encontrar al analizar el resto de ángulos contenidos en el anterior.

En categoría femenina, de los seis ángulos utilizados para definir la torsión del atleta, aquellos que incluyen la zona comprendida entre el eje de caderas y la línea de pies no obtuvieron correlaciones significativas con el tiempo de vuelo. De los tres ángulos restantes, solamente obtuvieron correlaciones estadísticamente significativas con el tiempo de vuelo aquellos que incluyen la zona comprendida entre el eje de hombros y el eje de caderas, dejando sin significación estadística al ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de hombros por no estar incluida en dicha zona. En la *Fase de Vuelo* el atleta se desplaza hacia la zona delantera del círculo de lanzamiento por medio de un salto realizado en la fase anterior. Este salto podría estar dirigido por una rotación del eje de caderas anticipándose al eje de hombros; consecuentemente, el atleta estaría más

concentrado en aumentar el grado de torsión por encima del eje de caderas intentando tensar los músculos del tronco mientras dirige los miembros inferiores a apoyarse uno en el punto central y el otro en la parte delantera del círculo de lanzamiento. Esta podría ser la posible causa de que en los resultados de este trabajo se haya obtenido una relación que indica que a mayor tiempo de vuelo, mayores fueron los ángulos de torsión del tronco al finalizar la fase.

Por el contrario, la ausencia en categoría masculina de correlaciones estadísticamente significativas entre las variables que definen la torsión del atleta y el tiempo de la *Fase de Vuelo* podría indicar que existen importantes elementos técnicos diferenciadores en la ejecución de esta fase entre ambos sexos (figura 4.2); o simplemente, que el rango de datos obtenidos en este estudio fue insuficiente para establecer una relación entre ambos parámetros. La idea de la posible existencia de una diferencia técnica empleada entre ambos sexos estaría justificada por las diferencias encontradas entre las dos categorías. Los lanzadores realizan *Fases de Vuelo* significativamente más cortas que las lanzadoras ($t = 3.096$; $p = 0.006$) y estas últimas aprovechan este tiempo extra para aumentar su torsión entre el eje de caderas y eje de hombros más que los hombres al finalizar la fase ($t = 2.993$; $p = 0.006$). Por lo tanto, podríamos decir que las lanzadoras aprovechan su *Fase de Vuelo* más larga para incrementar el grado de torsión en el tronco, mientras que los lanzadores se concentran en acortar la *Fase de Vuelo*.

Al concluir la *Fase de Vuelo* la velocidad absoluta del disco alcanzó un valor de 8.5m/s SD 1.1 en categoría masculina, con un valor máximo de 9.8m/s y mínimo de 5.8m/s. En la categoría femenina la velocidad absoluta del disco en ese mismo instante fue 6.0m/s SD 0.6 siendo el valor máximo de 6.9m/s y el mínimo de 5.2m/s. El porcentaje de velocidad lograda al finalizar la *Fase de Vuelo* con respecto a la velocidad de liberación fue de 37% SD 5 en categoría masculina y de 27% SD 3 en categoría femenina. El bajo porcentaje obtenido en ambas categorías podría indicar que el atleta reserva para el impulso final el mayor incremento de velocidad del disco. El lanzador en esta fase intenta mantener el disco en una posición donde el miembro superior este extendido e inmóvil. Por lo tanto la velocidad del disco en esta fase podría ser únicamente consecuencia del movimiento global del sistema lanzador + disco a lo largo del círculo de lanzamiento.

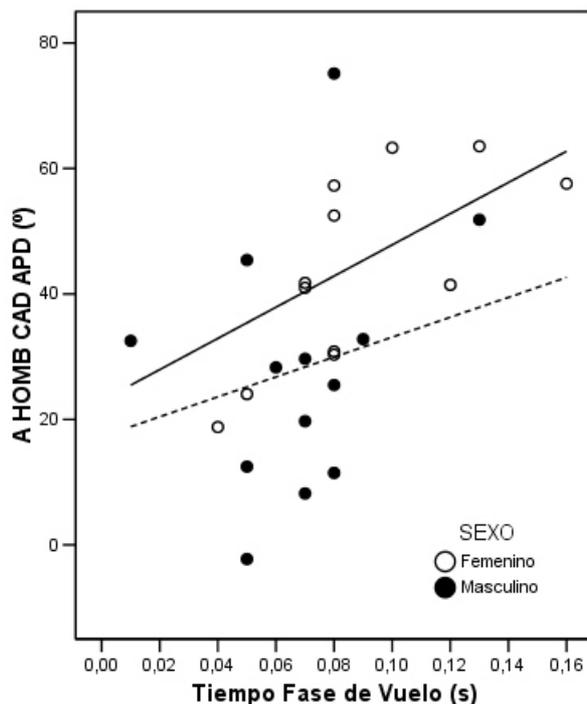


Figura 4.2. Relación entre el tiempo de la *Fase de Vuelo* y el ángulo ente el eje de hombros y el eje de caderas en el instante de apoyo del pie en categoría masculina y femenina.

Los resultados obtenidos se asemejan a los publicados por Hay y Yu (1995a) que, analizando las velocidades absolutas del disco al final de cada fase, encontraron que los lanzadores finalizaban la *Fase de Vuelo* con una velocidad del disco de 7.56m/s SD 0.77, mientras que las lanzadoras la concluyeron con 6.59m/s SD 1.48.

Ninguna correlación estadísticamente significativa fue encontrada entre la velocidad absoluta del disco al final de la *Fase de Vuelo* con la distancia oficial o con la velocidad de liberación del disco en ambas categorías (tabla 4.29). En cuanto a los módulos de los vectores horizontal y vertical de la velocidad absoluta del disco que se alcanzó en el instante de apoyo, se observó tanto en categoría masculina como en femenina que la componente horizontal fue considerablemente mayor que la vertical (figura 4.3); posiblemente debido a que en la *Fase de Vuelo* el atleta realizó un desplazamiento aéreo hacia la parte delantera del círculo de lanzamiento por medio de un salto.

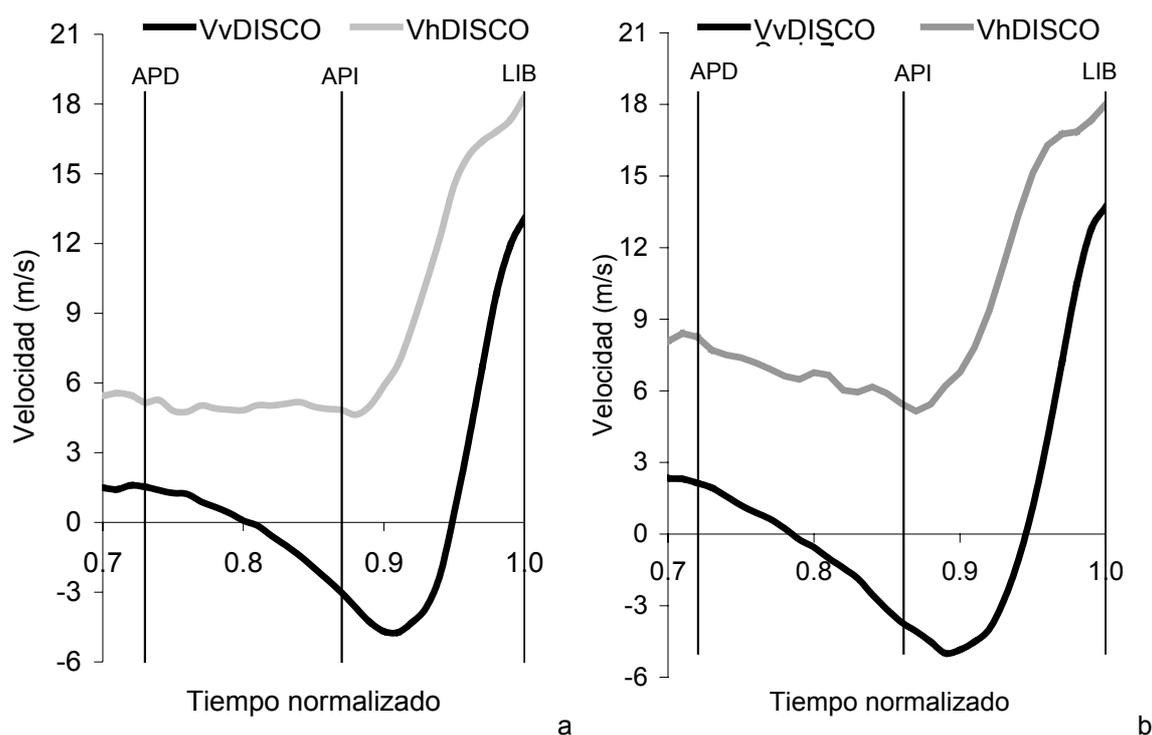


Figura 4.3. Componentes horizontal y vertical de la velocidad resultante del disco durante las fases 4 y 5 en categoría femenina (a) y en masculina (b). Se indican los instantes de inicio de la fase 4 (APD), inicio de la fase 5 (API) e instante de liberación (LIB).

Tabla 4.29. Coeficientes de correlación y grado de significación de las relaciones estudiadas con la velocidad absoluta del disco al finalizar la *Fase de Vuelo*.

Variable I	Variable II	Sexo	Coefficiente de correlación	Sig. (bilateral)	N
V_{DISCO}	d_0	♂	$r = -0.220$	$p = 0.471$	13
		♀	$r = -0.211$	$p = 0.511$	12
	$V_{DISCOlib}$	♂	$r = -0.254$	$p = 0.403$	13
		♀	$r = 0.049$	$p = 0.881$	12

r : coeficiente de correlación de Pearson. Se señalan en negrita las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de $p < 0.05$. ♂: sexo masculino. ♀: sexo femenino.

Como anteriormente se mencionó en el apartado de *Revisión Bibliográfica* el objetivo principal que el/la lanzador/a debe conseguir al finalizar la *Fase de Vuelo* es establecer el máximo grado de torsión posible (Bartlett, 1992; Hay, 1993; Knowles, 1997). Al finalizar la *Fase de Vuelo* en categoría masculina el ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor (derecho) y la línea de pies fue 90° SD 16. Con un valor máximo de 135° y mínimo de 55° . En categoría femenina el ángulo logrado fue

113° SD 37 con un valor máximo de 153° y mínimo de 59°. Un ángulo positivo señala un adelantamiento de los miembros inferiores sobre el miembro superior ejecutor (derecho). Pero el porcentaje de torsión que se obtiene en esta fase respecto al máximo alcanzado instantes después fue 63% SD 11 en categoría masculina y 72% SD 18 en categoría femenina.

Tabla 4.30. Valores y porcentajes de torsión respecto al máximo de los ángulos estudiados al finalizar la *Fase de Vuelo*.

Ángulo	Sexo	Valor (°)	Porcentaje (%)	N
$\theta_{\text{CAD_PIES}_{\text{APD}}}$	♂	30 SD 12	52 SD 19	13
	♀	43 SD 21	65 SD 28	12
$\theta_{\text{HOMB_PIES}_{\text{APD}}}$	♂	57 SD 17	49 SD 11	13
	♀	92 SD 34	67 SD 18	12
$\theta_{\text{BRAZO_PIES}_{\text{APD}}}$	♂	90 SD 16	63 SD 11	13
	♀	113 SD 37	72 SD 18	12
$\theta_{\text{HOMB_CAD}_{\text{APD}}}$	♂	27 SD 21	32 SD 23	13
	♀	48 SD 15	58 SD 14	12
$\theta_{\text{BRAZO_CAD}_{\text{APD}}}$	♂	60° SD 16	52 SD 12	13
	♀	69° SD 20	60 SD 18	12
$\theta_{\text{BRAZO_HOMB}_{\text{APD}}}$	♂	33° SD 14	55 SD 26	13
	♀	21° SD 8	39 SD 18	12

SD: Desviación estándar. ♂: sexo masculino. ♀: sexo femenino.

Los datos de este trabajo revelan que al finalizar esta fase los sujetos participantes en este estudio, sí obtuvieron un adelantamiento considerable de los miembros inferiores sobre el miembro superior ejecutor (derecho) en ambas categorías. Estos resultados estarían en consonancia con los resultados de otros estudios (Susanka y cols. 1988; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997) en los que sus autores exponían que aunque el objetivo de la *Fase de Vuelo* es aumentar la torsión, su valor máximo no se alcanzaría hasta la siguiente fase (*Fase de Segundo Apoyo Simple*). Pero la importancia de lograr un valor de torsión elevado al finalizar la *Fase de Vuelo* vendría reflejada por los elevados porcentajes respecto al valor máximo obtenidos en el instante de apoyo del pie derecho (tabla 4.30). Cabe destacar que el

50% de la máxima torsión haya sido alcanzada al finalizar esta fase sugiriendo que este factor mecánico puede ser una característica importante a lograr en esta fase. En orden de promover esta torsión, el atleta debe, en el corto intervalo de tiempo en que está sin apoyo, rotar las caderas anticipándose a la línea de hombros y éstos a su vez mantener su anticipación sobre el miembro superior ejecutor y sobre el disco. Esta posición de torsión se facilita si durante esta fase el atleta realiza una aducción de caderas, mantiene el miembro superior ejecutor alejado del eje de rotación y aproxima el miembro superior libre al eje de rotación. Además, una posición de torsión en el instante de apoyo del pie derecho parece ser un precursor necesario para generar una máxima torsión instantes después. Corroborando este supuesto, en los resultados de este trabajo se observan asociaciones entre los valores de los ángulos logrados al final de la *Fase de Vuelo* y los valores máximos obtenidos instantes después (tabla 4.31). En categoría femenina los resultados reflejan que existen correlaciones estadísticamente significativas para los ángulos eje de caderas y línea de pies, eje de hombros y línea de pies, línea del miembro superior ejecutor y línea de pies, eje de hombros y eje de caderas, línea del miembro superior ejecutor y eje de hombros. En los cuatro primeros ángulos la magnitud de la correlación fue intensa y con signo positivo indicando que mayores ángulos de torsión al finalizar la fase se relacionaban con mayores ángulos máximos logrados instantes después. Del último ángulo se destaca la magnitud intensa pero inversa debido a que el instante en el que se alcanza el valor máximo de éste es en la última fase, al contrario de los restantes ángulos, por lo que el intervalo de tiempo entre los dos instantes es mayor. En ese intervalo de tiempo podrían existir acciones técnicas que favorecerían el incremento en el ángulo de torsión del miembro superior ejecutor sobre el eje de hombros.

En categoría masculina solamente se obtuvo una correlación significativa con el ángulo entre el eje de hombros y la línea de pies, aunque el ángulo entre el eje de hombros y el eje de caderas se aproximaba a la significación estadística; la asociación encontrada tuvo un signo positivo y una magnitud moderada alta, ya que su respectivo valor se encontraban entre 0.10 y 0.05 mostrando una tendencia a la significación (tabla 4.31).

Visto que una gran parte de la torsión máxima se logra ya en la *Fase de Vuelo*, es razonable usar la variable torsión total del sistema al apoyar el pie derecho para

asociarla con los parámetros finales del lanzamiento del disco. Ninguna correlación estadísticamente significativa fue hallada entre el “Ángulo de Torsión Total del Sistema” con las variables de distancia oficial y velocidad de liberación en ambas categorías (tabla 4.32). Los coeficientes de estas correlaciones fueron débiles tanto en categoría masculina como en femenina, por lo que en ambas categorías de la muestra de este trabajo no hay evidencias a favor de que exista un nivel alto de asociación entre el grado de torsión alcanzado al concluir el vuelo y los parámetros posteriores de velocidad de liberación y distancia oficial. Esta carencia de correlaciones entre las variables anteriores podría indicar que existen elementos técnicos ejecutados en las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble* que no han sido contemplados en este estudio y que podrían servir para relacionar las variables de forma indirecta; o simplemente los resultados de este trabajo no proporcionan un rango suficiente en las variables usadas para poder establecer una evidencia satisfactoria.

Tabla 4.31. Coeficientes de correlación y grado de significación de las relaciones estudiadas entre los ángulos logrados al finalizar la *Fase de Vuelo* y los ángulos máximos alcanzados instantes después.

Variable I	Variable II	Sexo	Coefficiente de correlación	Sig. (bilateral)	N
$\theta_{CAD_PIES_{APD}}$	$\theta_{CAD_PIES_{MAX}}$	♂	$r = 0.303$	$p = 0.314$	13
		♀	$r = 0.691$	$p = 0.016$	12
$\theta_{HOMB_PIES_{APD}}$	$\theta_{HOMB_PIES_{MAX}}$	♂	$r = 0.684$	$p = 0.010$	13
		♀	$r = 0.815$	$p = 0.001$	12
$\theta_{BRAZO_PIES_{APD}}$	$\theta_{BRAZO_PIES_{MAX}}$	♂	$r = 0.471$	$p = 0.104$	13
		♀	$r = 0.852$	$p = 0.001$	12
$\theta_{HOMB_CAD_{APD}}$	$\theta_{HOMB_CAD_{MAX}}$	♂	$r = 0.548$	$p = 0.052$	13
		♀	$r = 0.736$	$p = 0.006$	12
$\theta_{BRAZO_CAD_{APD}}$	$\theta_{BRAZO_CAD_{MAX}}$	♂	$r = 0.373$	$p = 0.210$	13
		♀	$r = 0.348$	$p = 0.268$	12
$\theta_{BRAZO_HOMB_{APD}}$	$\theta_{BRAZO_HOMB_{MAX}}$	♂	$r = -0.024$	$p = 0.939$	13
		♀	$r = -0.613$	$p = 0.034$	12

r : coeficiente de correlación de Pearson. Se señalan en negrita las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de $p < 0.05$. ♂: sexo masculino. ♀: sexo femenino.

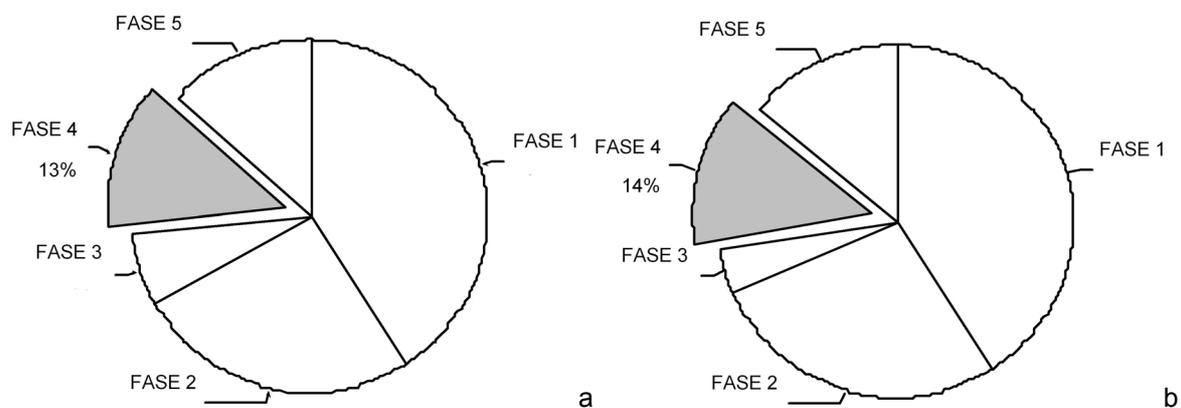
Tabla 4.32. Coeficientes de correlación y grado de significación de las relaciones estudiadas entre el ángulo miembro superior ejecutor y los parámetros finales del lanzamiento.

Variable I	Variable II	Sexo	Coeficiente de correlación	Sig. (bilateral)	N
$\theta_{\text{BRAZO_PIES}_{\text{APD}}}$	d_0	♂	$r = 0.308$	$p = 0.307$	13
		♀	$r = -0.089$	$p = 0.783$	12
	$V_{\text{DISCO}_{\text{lib}}}$	♂	$r = 0.006$	$p = 0.984$	13
		♀	$r = -0.070$	$p = 0.829$	12

r : coeficiente de correlación de Pearson. Se señalan en negrita las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de $p < 0.05$. ♂: sexo masculino. ♀: sexo femenino.

4.2.2 FASE DE SEGUNDO APOYO SIMPLE

La *Fase de Segundo Apoyo Simple* tuvo una duración en la categoría masculina de 0.21s SD 0.03, con un máximo de 0.28s y mínimo de 0.18s. En categoría femenina, la duración de la misma fase fue 0.20s SD 0.05, siendo la máxima de 0.26s y la mínima de 0.11s. El porcentaje sobre la duración total del lanzamiento fue del 14% SD 2 en categoría masculina y del 14% SD 4 en categoría femenina (figura 4.4).

**Figura 4.4.** Porcentaje del tiempo de duración de la *Fase de Segundo Apoyo Simple* respecto al total en categoría femenina (a) y en categoría masculina (b).

Como se mencionó en el apartado de *Revisión Bibliográfica* sobre esta fase la mayoría de los autores (Morris, 1973c; Paulsen, 1987; Stepanek y Susanka, 1987; Jones, 1991; Bartlett, 1992; Maheras, 1992) opinan que al tratarse de un período con un solo apoyo la duración debería de ser reducida. Los datos de este trabajo reflejan que aunque fue más breve que las dos primeras fases del lanzamiento no

fue la más corta, siendo las fases de *Vuelo* y de *Segundo Apoyo Doble* más breves que ésta, tanto en categoría masculina como en femenina. Sin embargo, Wilkins (1987b) advirtió, sin datos cuantitativos, que una consecución prematura del doble apoyo podría reducir en demasía una necesaria base de sustentación estable para generar el impulso final. En el presente trabajo se calculó el grado de asociación entre el tiempo de la *Fase de Segundo Apoyo Simple* y la distancia entre los apoyos una vez reestablecido el doble apoyo. Para la categoría masculina se obtuvo que existía una correlación estadísticamente significativa y de sentido positivo entre las dos variables (tabla 4.33). Este resultado indica que aquellos lanzadores que realizaban la *Fase de Segundo Apoyo Simple* más larga también poseían una mayor base de sustentación cuando el pie libre contactaba con el suelo. Aunque en categoría femenina no se obtuvo un grado de correlación estadísticamente significativo, la magnitud de la asociación se aproximaba a la significación estadística. Una base de sustentación adecuada puede permitir al atleta en la fase final conseguir una postura estable que ayudaría a aplicar la mayor fuerza posible al disco y consecuentemente lanzar con mayor velocidad. A la vista de los resultados obtenidos, cabe pensar que un recorte excesivo podría dificultar la ejecución de la siguiente fase reduciendo la base de sustentación. No obstante, estos resultados hay que tomarlos con cautela, ya que en el presente estudio no se controló la estatura de los atletas participantes. La estatura del lanzador podría influir en la variable distancia entre apoyos puesto que atletas más altos suelen apoyar sus pies con una distancia entre estos más ancha que los más bajos.

Aunque los autores recomiendan una fase corta para lograr el éxito en el lanzamiento, en este trabajo las correlaciones encontradas entre el tiempo de la *Fase de Segundo Apoyo Simple* con la distancia oficial y con la velocidad de liberación del disco tuvieron unas magnitudes débiles tanto en categoría masculina como en femenina (tabla 4.33). Por lo tanto, no se hallaron evidencias en los resultados de este trabajo a favor de que exista un alto grado de asociación entre el tiempo de *Fase de Segundo Apoyo Simple* y los parámetros finales de distancia oficial y velocidad de liberación. Esta carente correlación entre las variables anteriores podría indicar que existan importantes aspectos técnicos posteriores a la duración de la fase de *Segundo Apoyo Simple* que determinen en mayor medida los

parámetros finales, o simplemente que exista un rango insuficiente en las variables usadas para establecer una evidencia satisfactoria.

Tabla 4.33. Coeficientes de correlación y grado de significación de las relaciones estudiadas con el tiempo de la *Fase de Segundo Apoyo Simple*.

Variable I	Variable II	Sexo	Coeficiente de correlación	Sig. (bilateral)	N
T_SAS	d ₀	♂	$r = 0.313$	$p = 0.298$	13
		♀	$r = 0.332$	$p = 0.292$	12
	V _{DISCOlib}	♂	$r = 0.032$	$p = 0.918$	13
		♀	$r = 0.523$	$p = 0.081$	12
	d _h _META _{d(lib)} -META _{i(lib)}	♂	$r = 0.685$	$p = 0.010$	13
		♀	$r = 0.517$	$p = 0.085$	12

r: Coeficiente de correlación de Pearson. Se señalan en negrita las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de $p < 0.05$. ♂: sexo masculino. ♀: sexo femenino.

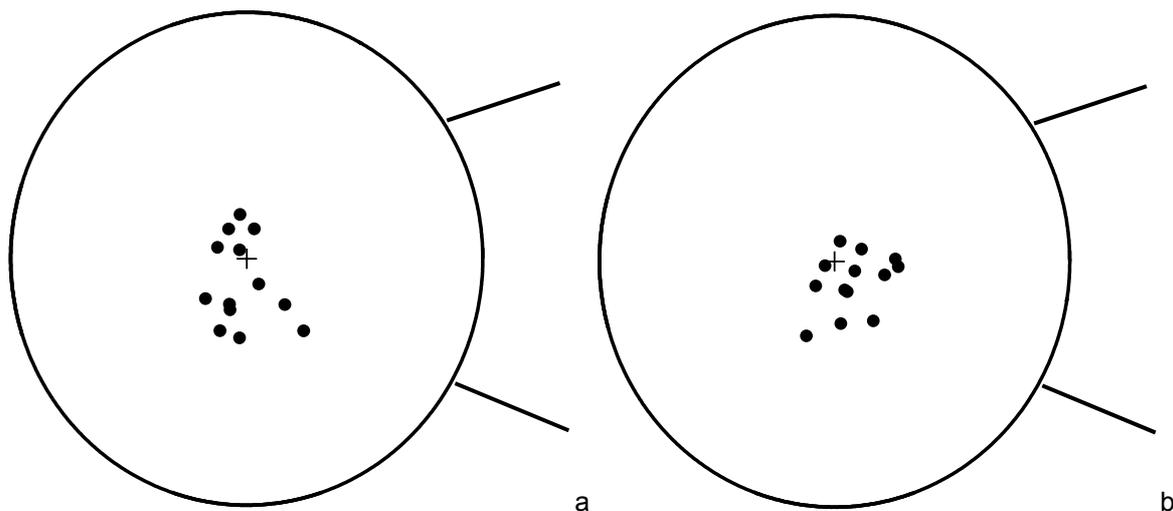


Figura 4.5. Valores para la medida del apoyo del pie en el instante de inicio de la Fase 4 en categoría masculina (a) y femenina (b). Se ha dibujado el círculo de lanzamiento como referencia.

Los técnicos deportivos aconsejan apoyar el pie cerca del centro del círculo de lanzamiento como prerequisite para garantizar el logro de buenas distancias de lanzamiento (Powell, 1975; Miller, 1976; Hay y Yu, 1996; Mirabelli, 1999). En la figura 4.5 se puede observar que, tanto en categoría masculina como femenina, existió un rango amplio de asientos donde el pie apoyó después de la *Fase de Vuelo*. Los contactos se concentraban cerca del centro del círculo y ligeramente

escorados a la derecha de la dirección de lanzamiento. Para calcular la desviación del apoyo del centro del círculo se usó la distancia horizontal absoluta entre el punto articular metatarso del pie de apoyo al centro del círculo de lanzamiento en el instante de contacto. El valor de esta variable fue 0.23m SD 0.12 en categoría masculina. La distancia máxima fue 0.41m y la mínima fue 0.05m. La misma variable en categoría femenina fue 0.24m SD 0.12. La distancia máxima fue 0.47m y la mínima fue 0.06m.

Tabla 4.34. Coeficientes de correlación y grado de significación de las relaciones estudiadas con la distancia horizontal desde el metatarso del pie de apoyo hasta el centro del círculo.

Variable I	Variable II	Sexo	Coeficiente de correlación	Sig. (bilateral)	N
d _h _META _d (APD)-CC	d _o	♂	$r = 0.229$	$p = 0.452$	13
		♀	$r = 0.076$	$p = 0.814$	12
	V _{DISCOlib}	♂	$r = 0.596$	$p = 0.032$	13
		♀	$r = 0.653$	$p = 0.021$	12

r : Coeficiente de correlación de Pearson. Se señalan con negrita las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de $p < 0.05$. ♂: sexo masculino. ♀: sexo femenino.

Aunque los técnicos deportivos recomiendan como prerrequisito para garantizar el éxito del lanzamiento que el primer apoyo después de la *Fase de Vuelo* se realice en el centro del círculo, los resultados de este trabajo podrían diferir ligeramente de esta recomendación. Ni en categoría masculina ni en categoría femenina se obtuvieron correlaciones significativas entre la distancia horizontal absoluta desde el metatarso del pie de apoyo hasta el centro del círculo de lanzamiento con la distancia oficial. Del mismo modo, los resultados de este trabajo indicaron que en la muestra estudiada, tanto en categoría masculina como en femenina, existía una correlación positiva, estadísticamente significativa, entre la primera variable de la asociación anterior y la velocidad de liberación del disco (tabla 4.34). Los resultados señalan que una mayor desviación entre el centro del círculo y el apoyo después del vuelo se asociaría con mayores velocidades de liberación en categoría masculina y femenina. Estos resultados van en la misma línea que los concluidos por Hay y Yu (1996); en este estudio los autores hallaron que los lanzamientos más largos se registraban con un amplio rango de valores en la variable distancia entre la punta del pie de apoyo y la línea media de la dirección de lanzamiento. Por inferencia, los

resultados podrían indicar que apoyar el pie después del vuelo justo en el centro del círculo no parece asegurar una mayor distancia de lanzamiento; consecuentemente, se podrían lograr mayores velocidades de liberación del disco apoyando el pie relativamente alejado de ese punto central.

Las trayectorias del disco en los planos horizontal y sagital se muestran respectivamente en las figuras 4.6 y 4.7. Trayectorias semejantes han sido descritas por otros investigadores en la literatura científica (Susanka y cols. 1987; Hay y Yu, 1995a; Silvestre y McCoy, 1995; Bartonietz y cols. 1996). En la *Fase de Segundo Apoyo Simple* el disco en primera instancia continuó con una trayectoria ascendente y curvilínea iniciada en fases anteriores para, una vez alcanzado el pico máximo, iniciar el descenso hacia el punto de altura mínima que se logró en la fase siguiente. El valor medio de la altura máxima que alcanzó el disco durante esta fase en categoría masculina fue de 1.55m SD 0.12. El máximo valor fue 1.72m y el mínimo fue 1.33m. En categoría femenina, la media fue 1.40m SD 0.15, el valor máximo fue 1.65m y el mínimo fue 1.25m. A pesar de que el valor medio indicaba que en este punto el disco alcanzó su altura máxima a lo largo del gesto, esta altura máxima solamente se encontró a una diferencia media con respecto de la altura de liberación de 0.06m en categoría masculina y de 0.01m en categoría femenina. Estas pequeñas diferencias medias apuntan que había lanzadores en ambas categorías en el que el instante de máxima altura a lo largo del gesto coincidió con la altura del disco en su liberación. En valores absolutos existieron diferencias entre la altura máxima alcanzada entre las dos categorías; los lanzadores lograron alturas significativamente más elevadas que las lanzadoras ($t = 2.645$; $p = 0.014$). Debido a que en este estudio no se registraron las estaturas de los participantes no se pudo saber si la diferencia encontrada fue debida a una divergencia en la técnica empleada, o simplemente a una disparidad en la estatura entre los hombres y las mujeres.

Los resultados obtenidos son ligeramente menores a los publicados por Susanka y cols. (1988) que, analizando los lanzadores finalistas del Campeonato del Mundo de 1987, encontraron unos valores para altura máxima del disco en categoría masculina de 1.63m SD 0.17, y en categoría femenina de 1.51m SD 0.10. En otro estudio, Silvester y McCoy (1995) compararon los datos de lanzadores masculinos de categoría elite y júnior obteniendo resultados en la categoría elite (1.55m SD 0.13)

que se asemejan a los del presente trabajo. Los autores observaron diferencias significativas para este parámetro entre las dos categorías considerando que la causa principal fue la disparidad de niveles de rendimiento. Este mismo origen podría ser el causante de las diferencias entre los resultados de este trabajo y el estudio de Susanka y cols. (1988).

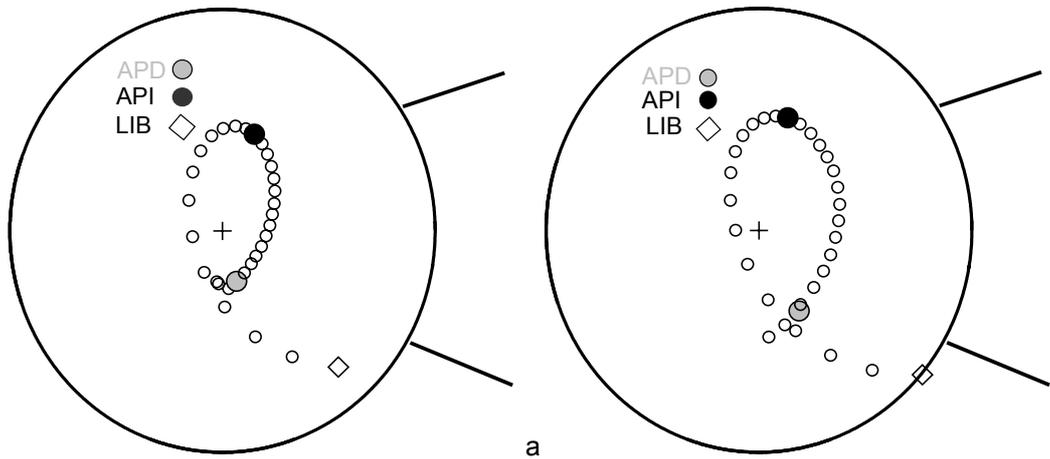


Figura 4.6. Promedio de las coordenadas horizontales del disco durante las fases 4 y 5 tanto en categoría femenina (a) como en masculina (b). Se destacan en mayor tamaño los instantes de inicio de la fase 4 (APD), inicio de la fase 5 (API) e instante de liberación (LIB). Se ha dibujado el círculo de lanzamiento como referencia.

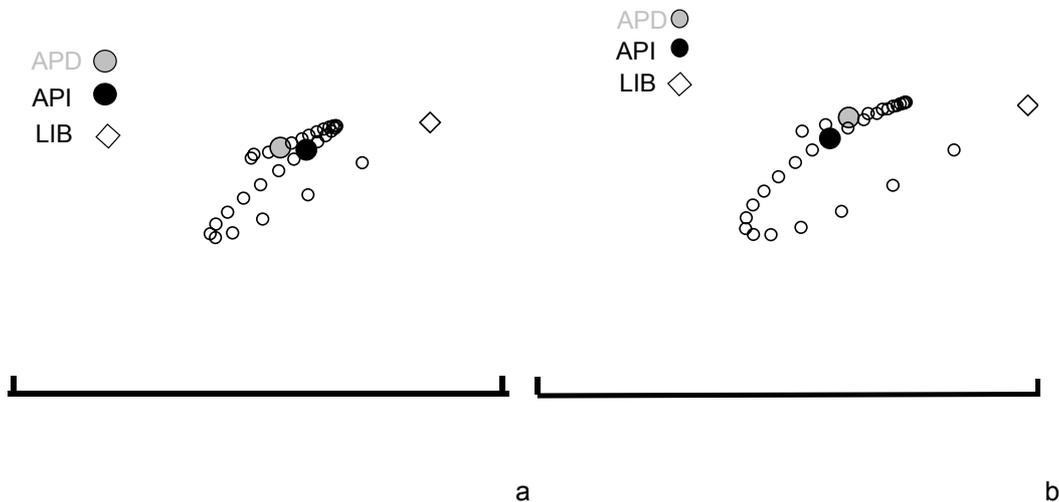


Figura 4.7. Promedio de la altura del disco durante las fases 4 y 5 tanto en categoría femenina (a) como en masculina (b). Se destacan en mayor tamaño los instantes de inicio de la fase 4 (APD), inicio de la fase 5 (API) e instante de liberación (LIB). Se ha dibujado el círculo de lanzamiento como referencia.

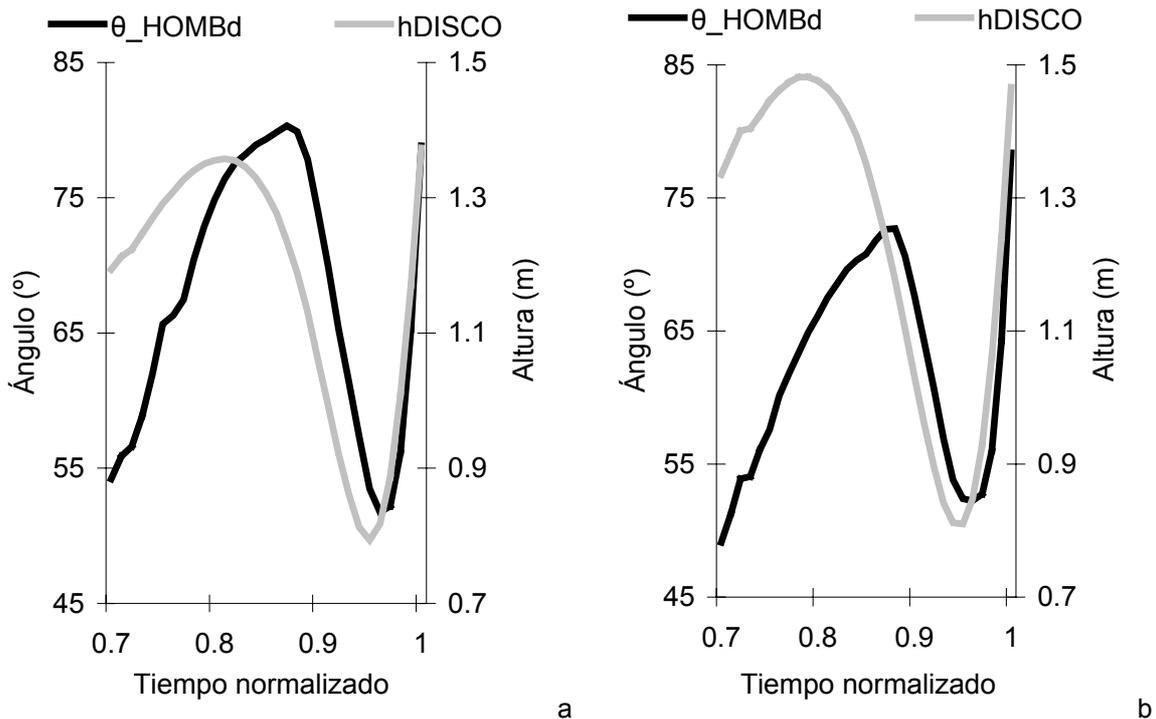


Figura 4.8. Ángulo del hombro del lado ejecutor y altura del disco durante las fases 4 y 5 en categoría femenina (a) y en masculina (b).

La altura del disco podría estar relacionada con el ángulo de abducción del hombro del miembro superior que lo sustenta. En la figura 4.8 se muestran representadas las variables ángulo del hombro del lado ejecutor y la altura del disco a lo largo de las dos últimas fases. En ella se puede observar que el comportamiento en las dos categorías de ambas variables es similar. Así para lograr una posición del disco lo más elevada posible, el atleta debería separar el miembro superior ejecutor al máximo del tronco aumentando el ángulo de abducción a la vez que aumenta la altura del disco, manteniendo siempre la articulación del codo extendida. Esta posible relación se confirmó con los resultados obtenidos en el presente trabajo que reflejaron en ambas categorías de la muestra estudiada que existía una correlación positiva, estadísticamente significativa, entre la máxima altura lograda en esta fase y el ángulo de abducción del hombro en ese mismo instante (tabla 4.35). Esta relación indicaba que un mayor ángulo de separación se asociaba con una mayor altura alcanzada por el disco sugiriendo el papel importante de la articulación de hombro para aumentar la altura del disco. En consecuencia, posicionando la articulación del hombro en abducción respecto al plano frontal, los músculos aductores del miembro

superior se estiran favoreciendo lograr una postura ventajosa para aplicar la máxima fuerza al disco.

Tabla 4.35. Coeficientes de correlación y grado de significación de las relaciones estudiadas con la máxima altura alcanzada por el disco.

Variable I	Variable II	Sexo	Coefficiente de correlación	Sig. (bilateral)	N
h _{DISCOmax(SAS)}	d _o	♂	$r = 0.539$	$p = 0.057$	13
		♀	$r = -0.277$	$p = 0.383$	12
	V _{DISCOlib}	♂	$r = 0.415$	$p = 0.159$	13
		♀	$r = -0.117$	$p = 0.717$	12
	V _{XYDISCOlib}	♂	$r = 0.090$	$p = 0.769$	13
		♀	$r = -0.392$	$p = 0.208$	12
	V _{ZDISCOlib}	♂	$r = 0.616$	$p = 0.025$	13
		♀	$r = 0.806$	$p = 0.002$	12
	Θ _{HOMB_{d(hdisco_max)}}	♂	$r = 0.728$	$p = 0.005$	13
		♀	$r = 0.900$	$p = 0.001$	12

r : Coeficiente de correlación de Pearson. Se señalan con negrita las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de $p < 0.05$. ♂: sexo masculino. ♀: sexo femenino.

Aunque en el presente trabajo no se obtuvieron correlaciones significativas entre la máxima altura del disco y los parámetros finales de velocidad y distancia oficial en ninguna de las dos categorías, lograr una posición elevada del disco podría aumentar el radio de giro sobre el eje antero-posterior que pasa por el centro de masas del sistema lanzador + disco. Un mayor alejamiento con respecto al eje de rotación podría favorecer el incremento del momento angular sobre el eje horizontal y con ello impartiría mayor velocidad vertical al disco en su liberación. Esto podría explicar la correlación significativa encontrada en este trabajo en ambas categorías, entre la altura máxima lograda en la fase 4 y la componente vertical de la velocidad de liberación del disco (tabla 4.35); a mayor altura, mayor componente vertical en la velocidad resultante de liberación.

Al final de la Fase de *Segundo Apoyo Simple* la velocidad absoluta alcanzada por el disco en categoría masculina fue 7.31m/s SD 1.25, con un valor máximo de 9.63m/s

y un valor mínimo de 5.50m/s. En relación con la fase anterior la velocidad absoluta descendió en -1.17m/s SD 1.14. En categoría femenina la velocidad absoluta del disco cuando finalizó la fase fue de 6.30m/s SD 2.12, con un valor máximo de 8.96m/s y un valor mínimo de 3.51m/s. Con relación a la fase anterior, la velocidad absoluta aumentó en 0.27m/s SD 1.58.

En líneas generales los datos de velocidades tanto finales como en el comportamiento durante el intervalo de la *Fase de Segundo Apoyo Simple* se hallan cercanos a los encontrados en la literatura científica para lanzadores de elite. Sin embargo Hay y Yu (1995a) describieron una ganancia de velocidad durante esta fase en categoría femenina (1.30m/s SD 1.15). Este hecho fue un tanto sorprendente para los autores dado que de la fricción entre el pie de apoyo y el suelo quizás podría esperarse que frenara la rotación del atleta y descendiera la velocidad del implemento. Aparentemente, los efectos positivos producidos por la reducción del momento de inercia sobre su eje vertical del sistema lanzador + disco fueron suficientes para incrementar la velocidad del disco, a pesar de la influencia contraria de las fuerzas de fricción ejercidas desde el pie de apoyo.

Tabla 4.36. Coeficientes de correlación y grado de significación de las relaciones estudiadas con la variación de la velocidad absoluta del disco en la fase 4 y la velocidad absoluta del disco al finalizar la fase 4.

Variable I	Variable II	Sexo	Coefficiente de correlación	Sig. (bilateral)	N
$\Delta_V_{\text{disco(SAS)}}$	d_0	♂	<i>$r = 0.211$</i>	$p = 0.488$	13
		♀	<i>$r = -0.403$</i>	$p = 0.193$	12
	V_{DISCOlib}	♂	<i>$r = 0.132$</i>	$p = 0.667$	13
		♀	<i>$r = -0.093$</i>	$p = 0.773$	12
$V_{\text{DISCO(API)}}$	d_0	♂	<i>$r = -0.151$</i>	$p = 0.622$	13
		♀	<i>$r = -0.360$</i>	$p = 0.251$	12
	V_{DISCOlib}	♂	<i>$r = -0.103$</i>	$p = 0.738$	13
		♀	<i>$r = -0.056$</i>	$p = 0.862$	12

r: Coeficiente de correlación de Pearson. Se señalan con negrita las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de $p < 0.05$. ♂: sexo masculino. ♀: sexo femenino.

Ninguna correlación significativa fue obtenida entre las variables de velocidad estudiadas en esta fase y las variables finales de distancia oficial y velocidad de liberación (tabla 4.36). Este resultado fue similar al reportado por Hay y Yu (1995a), quienes obtuvieron una correlación de $r = -0.32$ en categoría masculina y de $r = -0.06$ en categoría femenina entre la variación de velocidad en la *Fase de Segundo Apoyo Simple* y la distancia oficial para una muestra de 14 hombres y 15 mujeres todos ellos lanzadores y lanzadoras de disco.

El porcentaje de velocidad absoluta del disco alcanzado al finalizar esta fase fue bajo. En categoría masculina fue 32% SD 6 y en femenina 28% SD 10. El disco permanece relativamente inactivo y únicamente adquirió velocidad por el movimiento global del lanzador. Los bajos porcentajes de velocidad logrados por el disco al finalizar las cuatro quintas partes del gesto señalan que en la última fase se generará el gran incremento de velocidad del disco.

Como se mencionó en el apartado de *Revisión Bibliográfica* es en esta fase cuando los técnicos deportivos recomiendan que el lanzador alcance su máxima torsión como objetivo principal de esta fase. En este trabajo se han estudiado múltiples variables que pueden contribuir a discernir como fue esa torsión máxima lograda por los atletas. Las representaciones gráficas de las cinemáticas de los ángulos de torsión estudiados se presentan en las figuras de la 4.9 al 4.14. El comportamiento de los ángulos de torsión en ambas categorías fue muy similar; los lanzadores y lanzadoras en una primera instancia aumentaron el grado de torsión hasta lograr el valor máximo y una vez alcanzado, comenzaron a descender ese valor rotando hacia la dirección de lanzamiento.

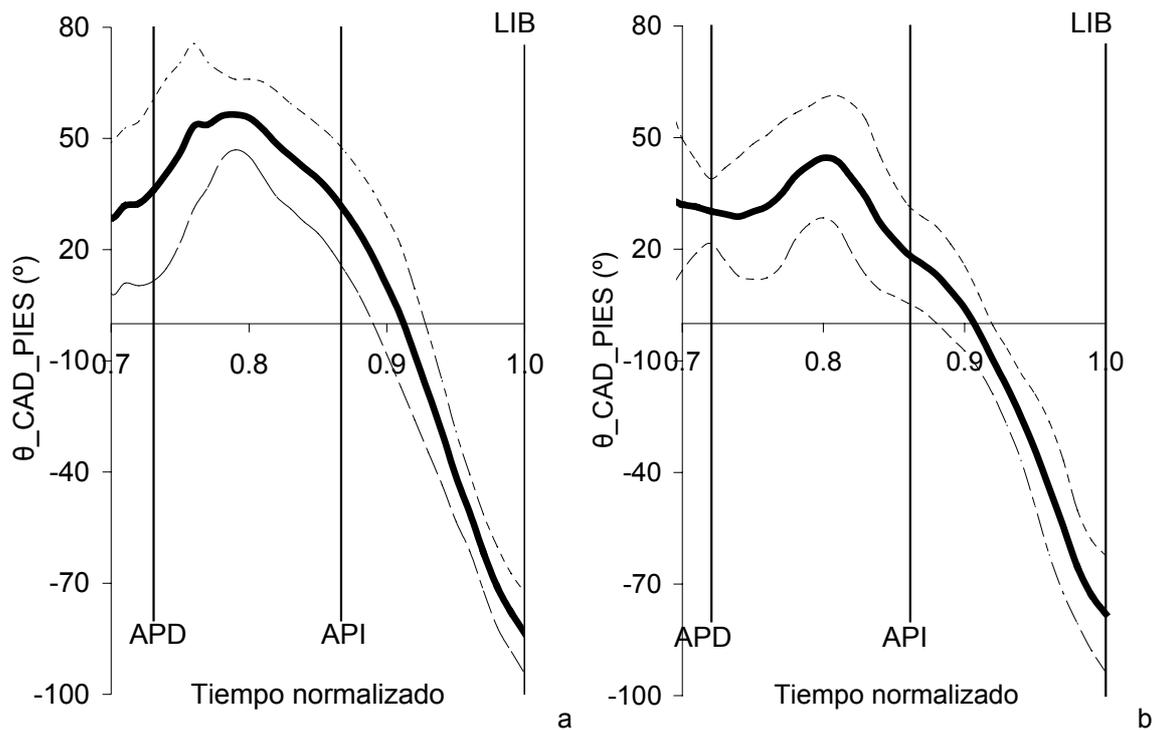


Figura 4.9. Media y desviación estándar del ángulo entre el eje de caderas y la línea de pies durante las fases 4 y 5 en categoría femenina (a) y en masculina (b). Se indican los instantes de inicio fase 4 (APD), inicio fase 5 (API) e instante de liberación (LIB).

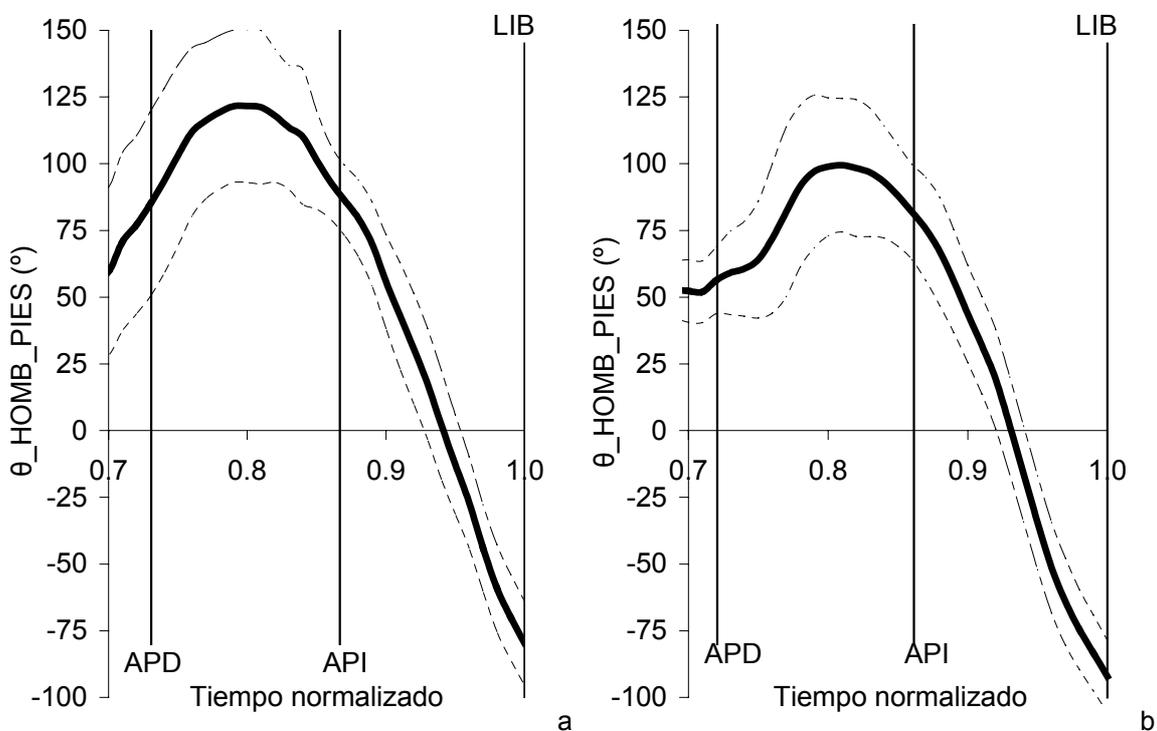


Figura 4.10. Media y desviación estándar del ángulo entre el eje de hombros y la línea de pies durante las fases 4 y 5 en categoría femenina (a) y en masculina (b). Se indican los instantes de inicio fase 4 (APD), inicio fase 5 (API) e instante de liberación (LIB).

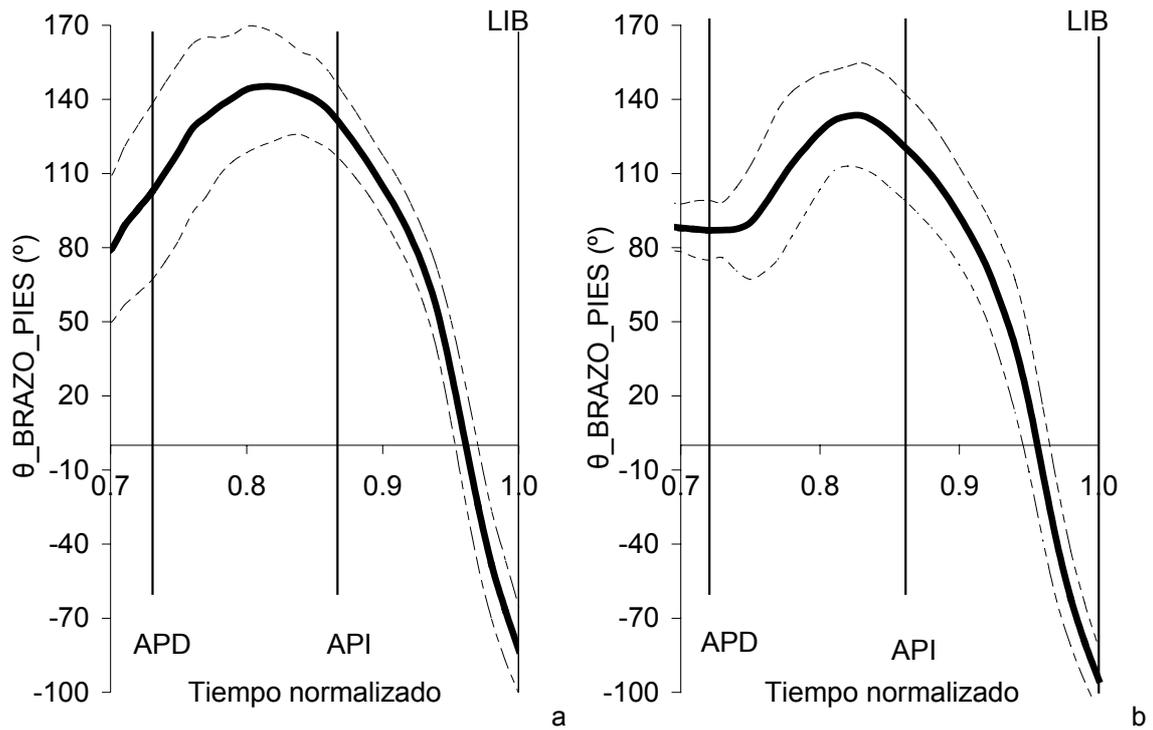


Figura 4.11. Media y desviación estándar del ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y la línea de pies durante las fases 4 y 5 en categoría femenina (a) y en masculina (b). Se indican los instantes de inicio fase 4 (APD), inicio fase 5 (API) e instante de liberación (LIB).

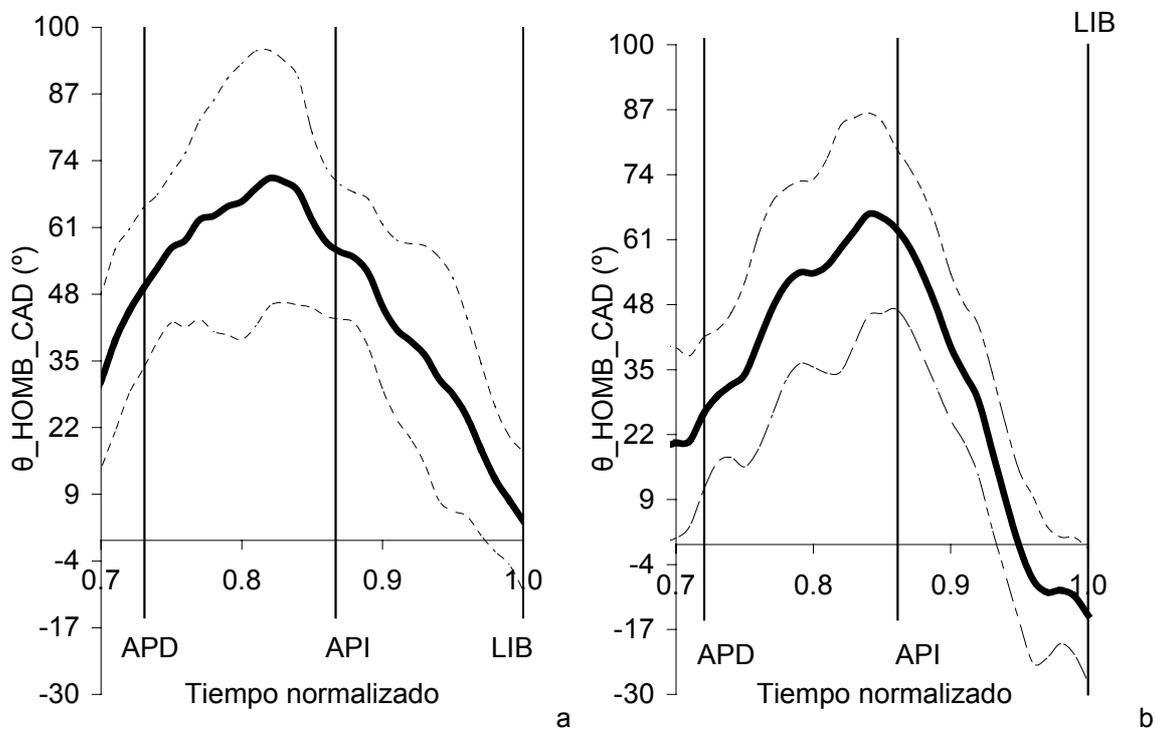


Figura 4.12. Media y desviación estándar del ángulo entre el eje de hombros y el eje de caderas durante las fases 4 y 5 en categoría femenina (a) y en masculina (b). Se indican los instantes de inicio fase 4 (APD), inicio fase 5 (API) e instante de liberación (LIB).

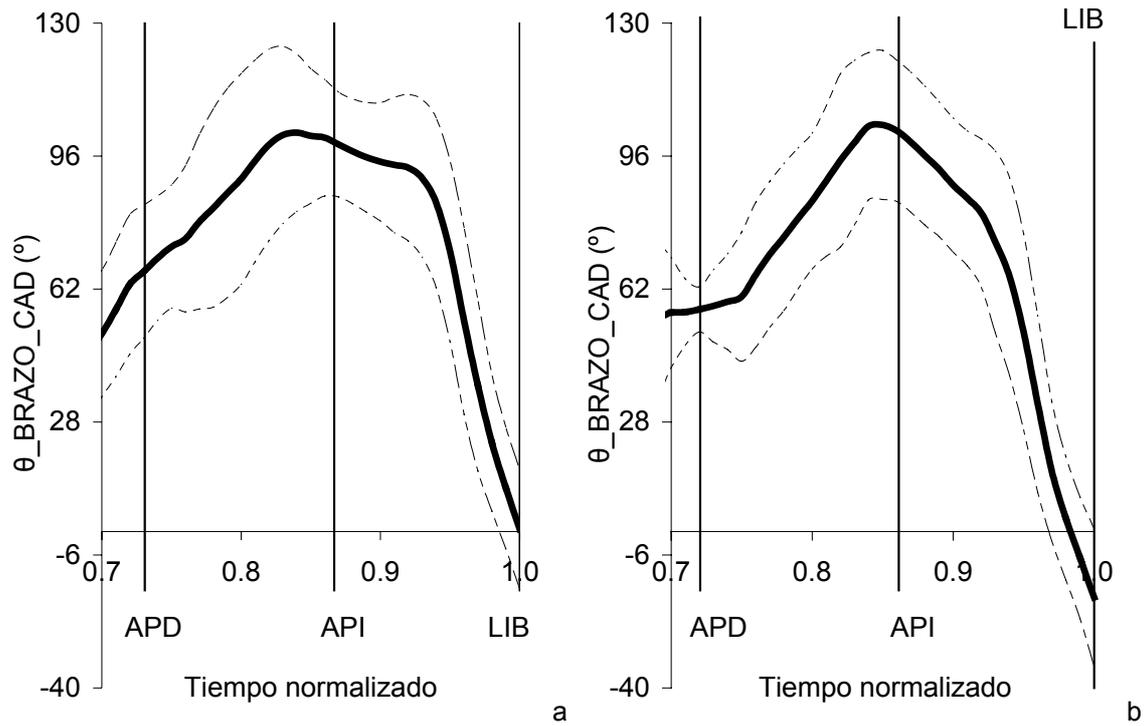


Figura 4.13. Media y desviación estándar del ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de caderas durante las fases 4 y 5 en categoría femenina (a) y en masculina (b). Se indican los instantes de inicio fase 4 (APD), inicio fase 5 (API) e instante de liberación (LIB).

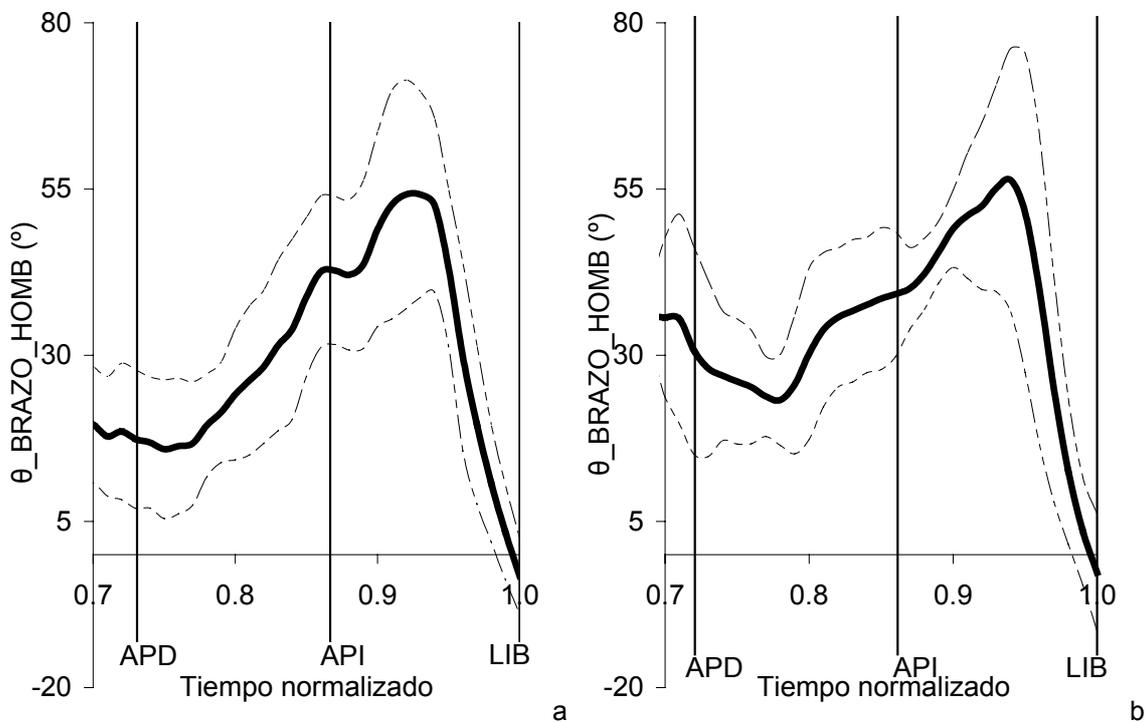


Figura 4.14. Media y desviación estándar del ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de hombros durante las fases 4 y 5 en categoría femenina (a) y en masculina (b). Se indican los instantes de inicio fase 4 (APD), inicio fase 5 (API) e instante de liberación (LIB).

De entre todos los ángulos de torsión cabe destacar el máximo *Ángulo de Torsión Total del Sistema*, el valor medio alcanzado de este ángulo en categoría masculina fue de 144° SD 24, con un registro máximo de 180° y uno mínimo de 114°. En categoría femenina el valor promedio de esa misma variable fue 154° SD 23, con un registro máximo de 180° y uno mínimo de 122°.

Los resultados del presente estudio sobre el grado de máxima torsión del sistema coinciden con los estudios de otros autores (Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997). No se encontraron diferencias significativas entre los resultados de los estudios de la literatura científica y los de este trabajo en ninguna de las dos categorías (masculina: $t = 0.126$, $p = 0.900$; femenina: $t = 1.823$, $p = 0.087$). Aún así, las distancias oficiales de los participantes en los estudios de Dapena y Anderst (1997) y Dapena y cols. (1997) fueron más largas que las registradas en el presente estudio existiendo diferencias significativas entre ellas (masculino: $t = -4.641$, $p = 0.001$; femenino: $t = -3.554$, $p = 0.002$). En resumen, los resultados de este trabajo sugieren que la necesidad de lograr un alto grado de torsión en esta fase fue un prerrequisito para poder lanzar lejos, pero no fue una garantía de éxito en el lanzamiento de disco.

Aunque los lanzadores pueden conseguir un elevado grado de torsión del sistema, la secuencia de movimientos es importante para posteriormente ejecutar una acción efectiva deshaciendo la torsión hacia la dirección de lanzamiento. En la figura 4.15 se puede observar como tanto en categoría masculina como en femenina, la máxima torsión del ángulo entre el eje de caderas y la línea de pies se logró en primer lugar. A ésta le siguió el máximo ángulo entre el eje de hombros y la línea de pies y para finalizar se alcanzó el máximo ángulo entre la línea del brazo ejecutor y la línea de pies completando así la máxima torsión del sistema. Este encadenamiento de acciones desde los miembros inferiores hacia los miembros superiores cumple el principio biomecánico de acción secuencial que tiene una importante aplicación en aquellos movimientos que necesitan conseguir una velocidad distal máxima como es el caso del lanzamiento de disco.

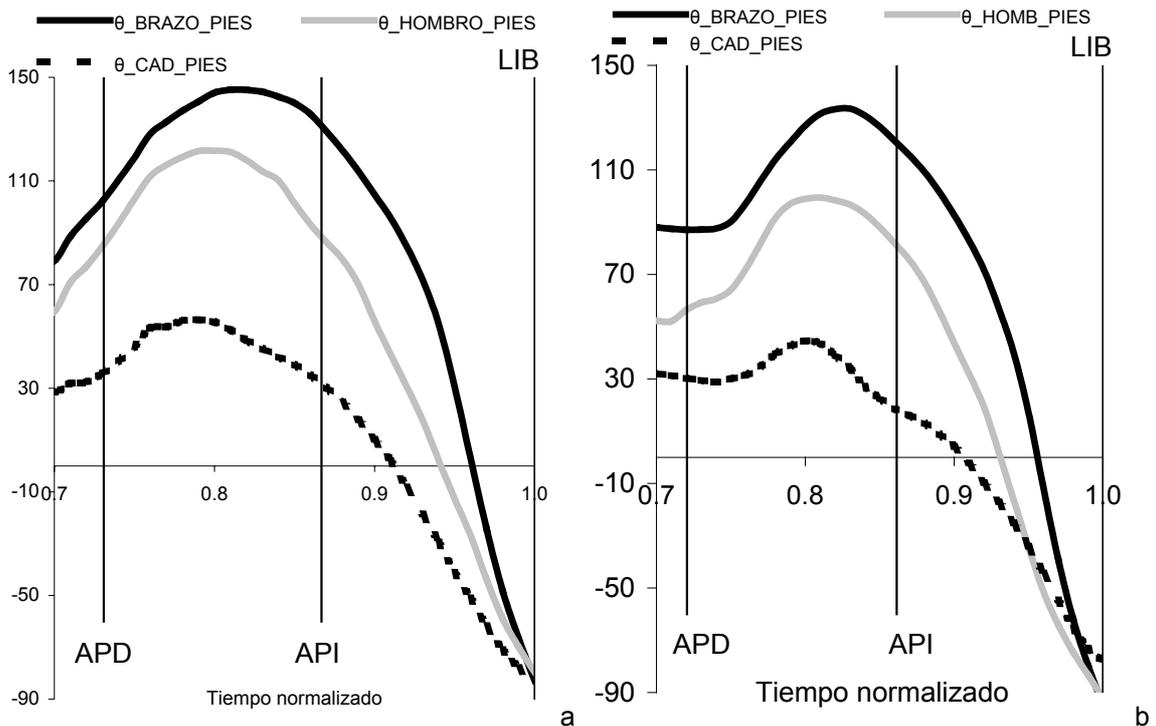


Figura 4.15. Representación gráfica respecto al tiempo del ángulo entre línea del miembro superior ejecutor y la línea de pies, del ángulo entre el eje de hombros y la línea de pies y del ángulo entre el eje de caderas y la línea de pies durante las fases 4 y 5 en categoría femenina (a) y en masculina (b). Se indican los instantes de inicio fase 4 (APD), inicio fase 5 (API) e instante de liberación (LIB).

Como se citó en párrafos anteriores este “*Ángulo de Torsión Total del Sistema*” es la suma de tres ángulos; el porcentaje de contribución de cada uno de los ángulos al de torsión total se muestra en la figura 4.16. En la figura, se puede observar que el ángulo formado entre el eje de hombros y el eje de caderas fue el que obtuvo una mayor contribución, tanto en la categoría masculina como en la femenina. A este le siguió el ángulo entre el eje de caderas y la línea de pies y por último el ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de hombros. La mayor contribución del ángulo entre el eje hombros y caderas, que se encuentra alrededor del 45%, podría ser debida a que el atleta es capaz de generar mayor cantidad de torsión en la zona del tronco con respecto a las zonas de los miembros inferiores y del miembro superior ejecutor. La contribución elevada del ángulo entre el eje de hombros y el eje de caderas, sugiere que se trate de una variable biomecánica especialmente importante a tener en cuenta por técnicos deportivos y lanzadores de disco.

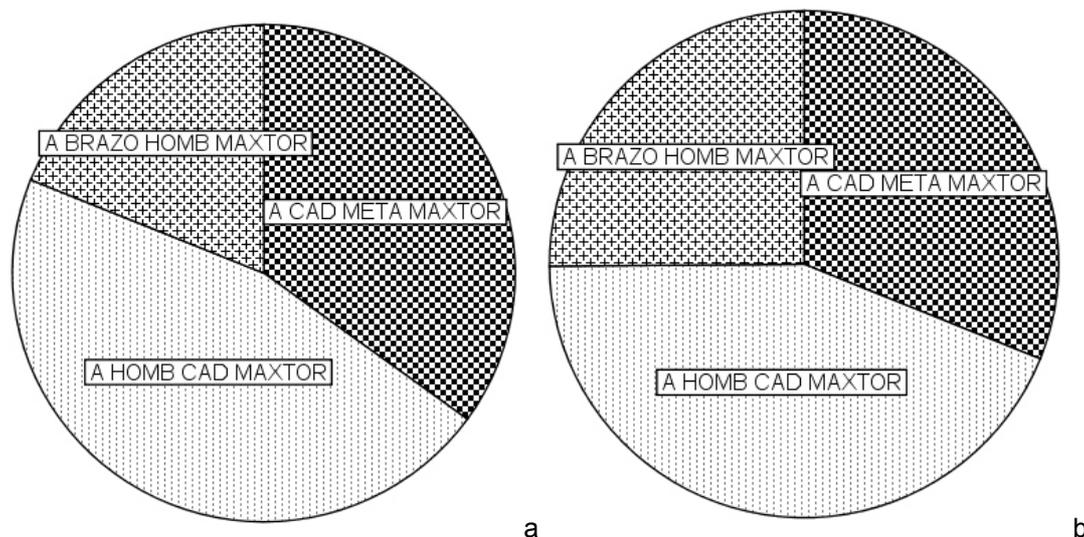


Figura 4.16. Porcentaje de contribución de cada ángulo al "Ángulo de Torsión Total del Sistema" en categoría femenina (a) y en categoría masculina (b).

Un alto grado de torsión logrado en esta fase crea una posición ventajosa para la utilización efectiva de la fuerza rotacional del tronco para acelerar el disco. Esto justificaría la posibilidad de encontrar asociaciones entre los valores máximos de los ángulos de torsión con la variable de velocidad de liberación. Sorprendentemente sólo un ángulo máximo obtuvo correlación significativa con la velocidad final, el ángulo máximo entre el eje de caderas y la línea de pies en categoría masculina. Esta inexistencia de correlación podría indicar que más que adoptar una postura de torsión máxima, la velocidad de liberación podría depender principalmente de la velocidad con la que se produzca esa acción de rotar hacia la liberación que la postura en sí. No obstante, en categoría masculina existieron correlaciones significativas entre la mayoría de los ángulos de torsión y la distancia oficial (tabla 4.37). Estas asociaciones significativas encontradas podrían ayudarnos a reconocer que aumentar los valores de los ángulos de torsión al máximo en esta fase se considera un indicador de una buena ejecución técnica. Por el contrario en categoría femenina no se obtuvo ninguna correlación significativa entre estas mismas variables, hecho que nos hace abordar la conclusión anterior con cautela y plantear una necesidad de más investigaciones en esta línea.

Tabla 4.37. Coeficientes de correlación y grado de significación de las relaciones estudiadas con los valores de los ángulos máximos logrados en la fase 4.

Variable I	Variable II	Sexo	Coeficiente de correlación	Sig. (bilateral)	N
$\theta_{\text{CAD_PIES}_{\text{MAX}}}$	d _O	♂	$r = 0.536$	$p = 0.059$	13
		♀	$r = -0.140$	$p = 0.664$	12
	V _{DISCOlib}	♂	$r = 0.670$	$p = 0.012$	13
		♀	$r = -0.002$	$p = 0.994$	12
$\theta_{\text{HOMB_PIES}_{\text{MAX}}}$	d _O	♂	$r = 0.624$	$p = 0.023$	13
		♀	$r = -0.050$	$p = 0.877$	12
	V _{DISCOlib}	♂	$r = 0.520$	$p = 0.069$	13
		♀	$r = 0.164$	$p = 0.610$	12
$\theta_{\text{BRAZO_PIES}_{\text{MAX}}}$	d _O	♂	$r = 0.769$	$p = 0.002$	13
		♀	$r = -0.119$	$p = 0.713$	12
	V _{DISCOlib}	♂	$r = 0.487$	$p = 0.091$	13
		♀	$r = 0.163$	$p = 0.613$	12
$\theta_{\text{HOMB_CAD}_{\text{MAX}}}$	d _O	♂	$r = 0.557$	$p = 0.048$	13
		♀	$r = -0.091$	$p = 0.779$	12
	V _{DISCOlib}	♂	$r = 0.377$	$p = 0.204$	13
		♀	$r = 0.252$	$p = 0.430$	12
$\theta_{\text{BRAZO_CAD}_{\text{MAX}}}$	d _O	♂	$r = 0.656$	$p = 0.015$	13
		♀	$r = -0.073$	$p = 0.823$	12
	V _{DISCOlib}	♂	$r = 0.499$	$p = 0.083$	13
		♀	$r = 0.528$	$p = 0.077$	12
$\theta_{\text{BRAZO_HOMB}_{\text{MAX}}}$	d _O	♂	$r = 0.191$	$p = 0.532$	13
		♀	$r = 0.262$	$p = 0.411$	12
	V _{DISCOlib}	♂	$r = 0.129$	$p = 0.674$	13
		♀	$r = 0.574$	$p = 0.051$	12

r : coeficiente de correlación de Pearson. Se señalan con negrita las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de $p < 0.05$. ♂: sexo masculino. ♀: sexo femenino.

El instante en el que se consigue la máxima torsión del atleta en relación con el momento en el que éste apoya el segundo pie en el suelo ha sido tema de discusión en el apartado de *Revisión Bibliográfica*. Existen autores que recomiendan que la máxima torsión del atleta se logre justo en el instante de inicio del doble apoyo. Contrariamente a lo anterior, los resultados de este estudio expusieron que los lanzadores masculinos analizados lograban esta torsión máxima del sistema (0.08s SD 0.05) antes del doble apoyo. Mientras que las lanzadoras la conseguían instantes antes (0.09s SD 0.06). Estos datos señalan que, tanto los lanzadores como las lanzadoras, lograban esa máxima torsión claramente antes de que se consiguiese el doble apoyo. Adicionalmente, en los resultados se halló que los lanzadores y lanzadoras que consiguieron mayores magnitudes en los valores de torsión total del sistema, mayor intervalo de tiempo se produjo entre éstos y el inicio del doble apoyo. Así lo apoya las correlaciones estadísticamente significativas encontradas entre el “Ángulo de Torsión Total del Sistema” y el intervalo de tiempo desde que se consigue hasta el doble apoyo (tabla 4.38). Los resultados por tanto concluyen que en la muestra estudiada la máxima torsión total del sistema se consigue antes que se produzca el doble apoyo y que los valores más altos se consiguen cuando existe un mayor distanciamiento del doble apoyo, alejándose de las premisas teóricas.

Tabla 4.38. Coeficientes de correlación y grado de significación de las relaciones estudiadas con el máximo “Ángulo de Torsión Total del Sistema”

Variable I	Variable II	Sexo	Coefficiente de correlación	Sig. (bilateral)	N
$\theta_{\text{BRAZO_PIES}_{\text{MAX}}}$	Tiempo en lograr	♂	$r = 0.736$	$p = 0.004$	13
	$\theta_{\text{BRAZO_PIES}_{\text{MAX}}}$	♀	$r = 0.763$	$p = 0.004$	12

r: coeficiente de correlación de Pearson. Se señalan con negrita las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de $p < 0.05$.

Como se abordó en el apartado de *Revisión Bibliográfica*, para que el lanzamiento sea eficaz es importante iniciar el movimiento desde los miembros inferiores hacia los miembros superiores y así la utilización de todos los segmentos será efectiva y garantizaría el éxito del lanzamiento. Los resultados de este trabajo, tanto en categoría masculina como en femenina, confirman este hecho. El comienzo del impulso final puede ser considerado que se inició desde los miembros inferiores

hacia los miembros superiores, puesto que el ángulo máximo entre el eje de caderas y la línea de pies se alcanzó en primer lugar seguido del ángulo máximo entre el eje de hombros y el eje de caderas y finalizó logrando el ángulo máximo entre el miembro superior ejecutor y el eje de hombros (figura 4.17).

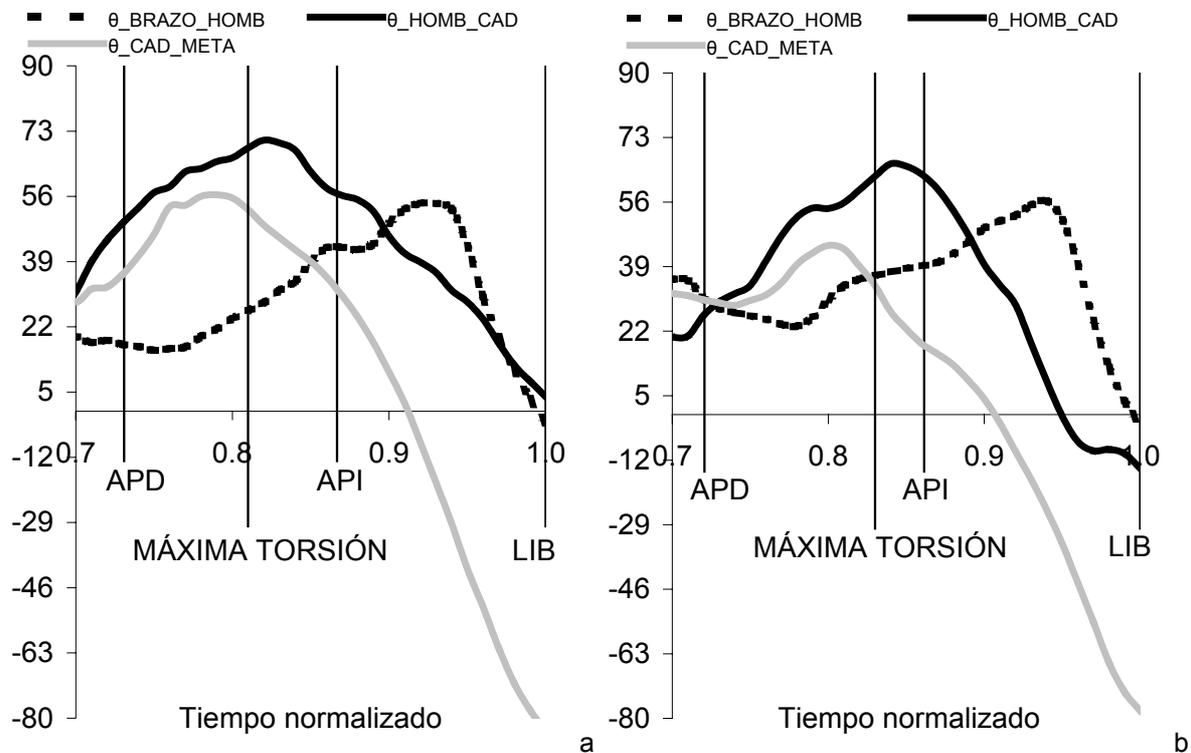


Figura 4.17. Representación gráfica respecto al tiempo del ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de hombros, ángulo entre el eje de hombros y el eje de caderas y el ángulo entre el eje de caderas y la línea de pies durante las fase 4 y 5 en categoría femenina (a) y en masculina (b). Se indican los instantes de inicio fase 4 (APD), instante de máxima torsión del sistema (MÁXIMA TORSIÓN), inicio fase 5 (API) e instante de liberación (LIB).

El ángulo máximo de torsión entre el eje de caderas y la línea de pies se produjo en categoría masculina 0.16s SD 0.08 antes del inicio del doble apoyo. En categoría femenina se produjo 0.12s SD 0.09 antes del inicio del doble apoyo. El ángulo máximo de torsión entre el eje de hombros y el eje de caderas se produjo en categoría masculina 0.06s SD 0.07 antes del inicio del doble apoyo. En categoría femenina se produjo 0.06s SD 0.05 antes del inicio del doble apoyo. El ángulo máximo de torsión entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de hombros se produjo en categoría masculina 0.06s SD 0.06 después del inicio del doble apoyo. En categoría femenina se produjo 0.09s SD 0.07 después del mismo instante.

Un patrón similar al anteriormente descrito, en el cual los miembros inferiores comienzan sus acciones antes que los superiores, fue descrito en lanzadores de disco de categoría elite por Dapena y colaboradores (Dapena y Anderst, 1997, Dapena y cols. 1997). Los autores obtuvieron que los valores de los hombres fueron para las mismas variables anteriores 0.10s, 0.08s y 0.03s respectivamente. Mientras que los valores de estas mismas variables en categoría femenina fueron 0.09s, 0.09s y 0.04s respectivamente. Las diferencias en las magnitudes de los valores obtenidas entre los dos estudios son probablemente debidas a las diferencias correspondientes a las muestras.

4.2.3 FASE DE SEGUNDO APOYO DOBLE

La *Fase de Segundo Apoyo Doble* tuvo una duración en la categoría masculina de 0.21s SD 0.03. La duración máxima fue 0.25s y la mínima fue 0.16s. En categoría femenina, la duración de la misma fase fue 0.20s SD 0.03, la duración máxima fue 0.24s y la mínima fue 0.14s. El porcentaje sobre la duración total del lanzamiento fue del 14% SD 2 en categoría masculina y del 13% SD 2 en categoría femenina (figura 4.18).

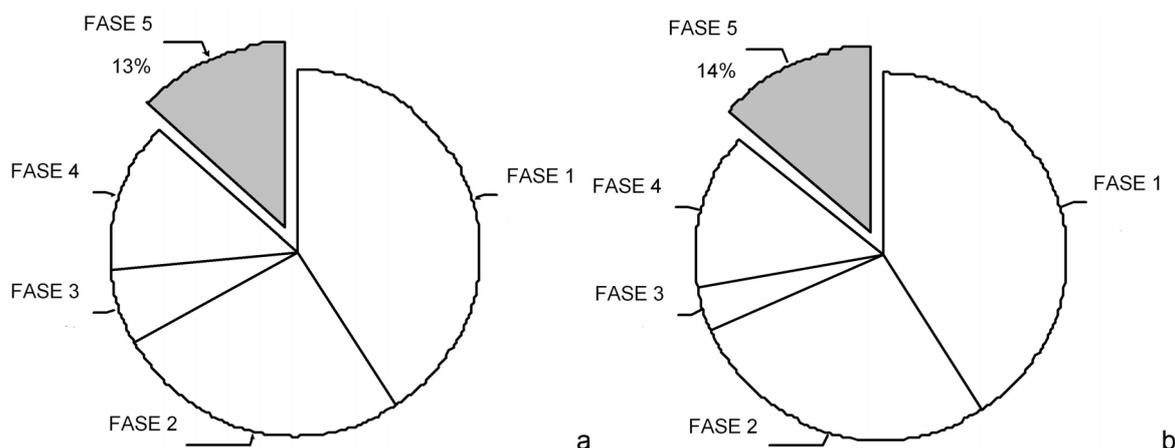


Figura 4.18. Porcentaje del tiempo de duración de la *Fase de Segundo Apoyo Doble* respecto al total en categoría femenina (a) y en categoría masculina (b).

Una mayor duración de la *Fase de Segundo Apoyo Doble* permite obtener al lanzador más tiempo para acelerar el disco. Sin embargo ni en categoría masculina ni en femenina se han encontrado que el tiempo de Fase 5 posea relaciones

significativas ni con la velocidad de liberación del disco, ni con la distancia oficial, ni con el incremento de velocidad absoluta en esta fase (tabla 4.39). Esta carencia de correlaciones significativas con los objetivos principales de esta fase y final del lanzamiento podrían indicar que una duración más prolongada del doble apoyo no aseguraría liberar el disco con una mayor velocidad ni lanzarlo a una distancia mayor, o simplemente que existiría en ambas categorías un rango insuficiente en las variables usadas para establecer una relación entre ellas.

Tabla 4.39. Coeficientes de correlación y grado de significación de las relaciones estudiadas con el tiempo de duración de la *Fase de Segundo Apoyo Doble*.

Variable I	Variable II	Sexo	Coeficiente de correlación	Sig. (bilateral)	N
T_SAD	d ₀	♂	<i>r</i> = -0.024	<i>p</i> = 0.939	13
		♀	<i>r</i> = -0.450	<i>p</i> = 0.142	12
	V _{DISCOlib}	♂	<i>r</i> = 0.074	<i>p</i> = 0.811	13
		♀	<i>r</i> = -0.497	<i>p</i> = 0.100	12
	Δ_V _{disco(SAD)}	♂	<i>r</i> = -0.106	<i>p</i> = 0.730	13
		♀	<i>r</i> = -0.291	<i>p</i> = 0.359	12

r: Coeficiente de correlación de Pearson. Se señalan con negrita las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de $p < 0.05$. ♂: sexo masculino. ♀: sexo femenino.

Es en esta fase cuando se reestablece el doble apoyo, como se indicó en el apartado de *Revisión Bibliográfica*. Esta postura de doble apoyo se denominada en la bibliografía consultada como *Posición de Potencia* (“*Power Position*”) debido a que desde su adopción el atleta debe realizar un movimiento explosivo final. Para realizar un movimiento explosivo final con garantías es necesario una base de sustentación estable. Los resultados del presente trabajo muestran que la longitud media de la base de sustentación fue de 0.81m SD 0.17 en categoría masculina, con un valor máximo de 1.13m y un valor mínimo de 0.59m. En categoría femenina el valor medio fue de 0.80m SD 0.10, con un máximo de 1m y un mínimo de 0.71m. Gregor y cols. (1985) encontraron en lanzadores de disco de categoría elite que los valores de distancia horizontal entre los apoyos fueron de 0.80m SD 0.04 en categoría masculina y de 0.85m SD 0.11 en categoría femenina, por lo que parece

que los resultados obtenidos por los autores anteriores y los de este trabajo fueron semejantes.

La apertura de la postura se valoró en este trabajo con la variable ángulo entre la línea de pies y el vector dirección de la velocidad de liberación del disco. Los valores medios de esta variable en categoría masculina fueron 20° SD 13, mientras que en categoría femenina fueron 21° SD 19 (figura 4.19). Lindsay (1991) (citado por Bartlett, 1992) obtuvo para este mismo parámetro un rango de datos muy amplio, en categoría masculina variaron entre 10° y 38° , y en categoría femenina variaron entre 12° y 27° . Tanto los datos del anterior estudio como del presente muestran que los lanzadores adoptan posturas abiertas con un amplio abanico de posibilidades en el grado de abertura a la hora de liberar el disco.

Los valores de las variables distancia de pies y ángulo entre la línea de pies y la dirección de lanzamiento de este trabajo como los de la bibliografía indican que los lanzadores tanto de categoría masculina como femenina logran una base de sustentación estable y abierta para poder realizar un movimiento explosivo con garantías.

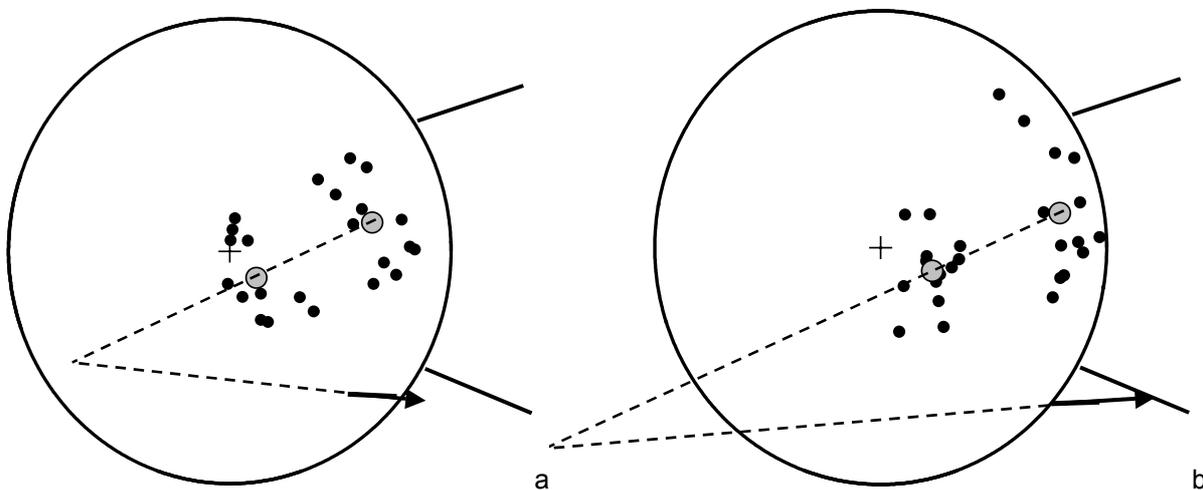


Figura 4.19. Coordenadas medias de los apoyos en la *Fase de Segundo Apoyo Doble* en categoría masculina (a) y femenina (b). Se han representado en cada gráfica los vectores directores horizontales promedio de la velocidad de liberación.

En ninguna de las dos categorías se encontraron correlaciones significativas entre aquellas posturas con una base de sustentación más amplias y unos mayores valores de distancia oficial o unos mayores valores de velocidad de liberación o unos

mayores incrementos de velocidad en esta fase (tabla 4.40). El mismo escaso grado de correlación se vio en categoría masculina entre las variables ángulo de apertura de pies y velocidad resultante de liberación o incremento de velocidad (tabla 4.40). Sin embargo en esta misma categoría se halló una correlación significativa entre el ángulo de apertura de pies y la distancia oficial (tabla 4.40). Del mismo modo, en categoría femenina se obtuvo, tanto para la variable distancia oficial como para la variable velocidad de liberación y como para la variable de incremento de velocidad en la *Fase de Segundo Apoyo Doble*, correlaciones estadísticamente significativas con el ángulo de apertura de los pies (tabla 4.40). Estas correlaciones podrían indicar que una posición abierta de pies favorece el incremento tanto la velocidad absoluta del disco a lo largo de la Fase 5 como la velocidad de liberación. Esta posición podría permitir un mayor rango de movimiento de la cadera derecha hacia la dirección de lanzamiento facilitando así un recorrido más amplio para acelerar el disco. No obstante, hallar únicamente significación estadística en categoría femenina hace que se plantee una necesidad de estudiar este aspecto con mayor profundidad.

Tabla 4.40. Coeficientes de correlación y grado de significación de las relaciones estudiadas con la distancia horizontal entre pies y con el ángulo de apertura.

Variable I	Variable II	Sexo	Coefficiente de correlación	Sig. (bilateral)	N
$d_h_META_{d(lib)}-META_{i(lib)}$	d_O	♂	$r = 0.169$	$p = 0.580$	13
		♀	$r = 0.413$	$p = 0.183$	12
	$V_{DISCOlib}$	♂	$r = -0.036$	$p = 0.908$	13
		♀	$r = 0.051$	$p = 0.876$	12
	$\Delta_V_{DISCO(SAD)}$	♂	$r = 0.152$	$p = 0.621$	13
		♀	$r = -0.007$	$p = 0.984$	12
$\Theta_PIES_DLAN_{lib}$	d_O	♂	$r = 0.574$	$p = 0.040$	13
		♀	$r = 0.627$	$p = 0.029$	12
	$V_{DISCOlib}$	♂	$r = 0.305$	$p = 0.312$	13
		♀	$r = 0.578$	$p = 0.049$	12
	$\Delta_V_{disco(SAD)}$	♂	$r = 0.444$	$p = 0.129$	13
		♀	$r = 0.698$	$p = 0.012$	12

r : Coeficiente de correlación de Pearson. Se señalan con negrita las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de $p < 0.05$. ♂: sexo masculino. ♀: sexo femenino.

La falta de correlación significativa entre las variables distancia entre apoyos y velocidad de liberación ya fue presentada en un estudio previo por Bartlett (1990). Además Hay y Yu (1996) observaron que aunque los mejores lanzamientos se realizaban generalmente acercándose a las recomendaciones de la literatura, esta postura no era ni un prerrequisito ni una garantía para obtener éxito en el lanzamiento.

En la figura 4.7 se puede observar como el disco alcanzó su punto más bajo en esta fase. La media de las alturas mínimas logradas por los lanzadores fue 0.78m SD 0.09, con una altura máxima de 0.89m y una mínima de 0.58m. Las lanzadoras por su parte alcanzaron una altura mínima media de 0.77m SD 0.08, con una altura máxima de 0.88m y una altura mínima de 0.62m. Susanka y cols. (1988) en su estudio con los finalistas del Campeonato del Mundo de 1987 obtuvo resultados que reflejaban que los lanzadores masculinos descendían del disco a una altura de 0.87m SD 0.13, mientras las lanzadoras lo hacían a 0.77m SD 0.11.

Esta altura mínima representó un punto de inflexión en la trayectoria del disco; a partir de este instante el disco comenzó a ascender hacia delante hasta su liberación. El incremento de altura en categoría masculina fue de 0.71m SD 0.19, con un incremento máximo de 0.10m y uno mínimo de 0.44m. En categoría femenina el incremento medio fue de 0.63m SD 0.14, con un máximo de 0.87m y un mínimo de 0.44m. La altura de liberación del disco en categoría masculina fue de 1.49m SD 0.20, con un valor máximo de 1.75m y un mínimo de 1.06m. En categoría femenina la altura liberación fue de 1.40m SD 0.11, con un valor máximo de 1.57m y uno mínimo de 1.18m. Las alturas de liberación descritas en este trabajo fueron ligeramente inferiores a las aparecidas en la bibliografía, similarmente las distancias oficiales fueron ligeramente inferiores (Terauds, 1978; Gregor y cols. 1985; McCoy y cols. 1985; Susanka y cols. 1988; Knicker, 1994a, 1994b; Hay y Yu, 1995a, 1995b, 1996; Silvester y McCoy, 1995; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997). Como se mencionó en el apartado de *Revisión Bibliográfica* el factor altura de liberación es el de menor importancia en determinar la distancia de lanzamiento comparado con los de velocidad y ángulo; por este motivo la diferencia en las distancias oficiales existentes entre los estudios científicos y este trabajo no pueden ser debidas únicamente a la diferencia de valores en el parámetro altura de liberación. La posible causa de esta diferencia de alturas podría estar o bien en la

estatura de los atletas, variable no registrada en este trabajo, o bien en una diferencia técnica o bien en las diferencias en la precisión de la técnica instrumental utilizada. Silvester y McCoy (1995) calcularon en su estudio el ángulo de abducción del hombro del lado ejecutor en una muestra masculina obteniendo un valor de 108° SD 6. Estos valores fueron superiores a los obtenidos por los lanzadores de la muestra de este trabajo (80° SD 9). Pese a no tener datos de la categoría femenina esta diferencia en el patrón articular en el instante de liberación podría ser uno de los orígenes de la diferencia en las alturas. No obstante al tratarse de un parámetro de menor importancia, éste debería ser modificado sin perjuicio de los restantes parámetros finales de liberación.

En este trabajo no se han obtenido correlaciones significativas entre la variable altura mínima y de liberación del disco y los parámetros finales de velocidad de liberación y distancia oficial (tabla 4.41), como en ninguno de los estudios revisados en la bibliografía (Hay y Yu, 1995a).

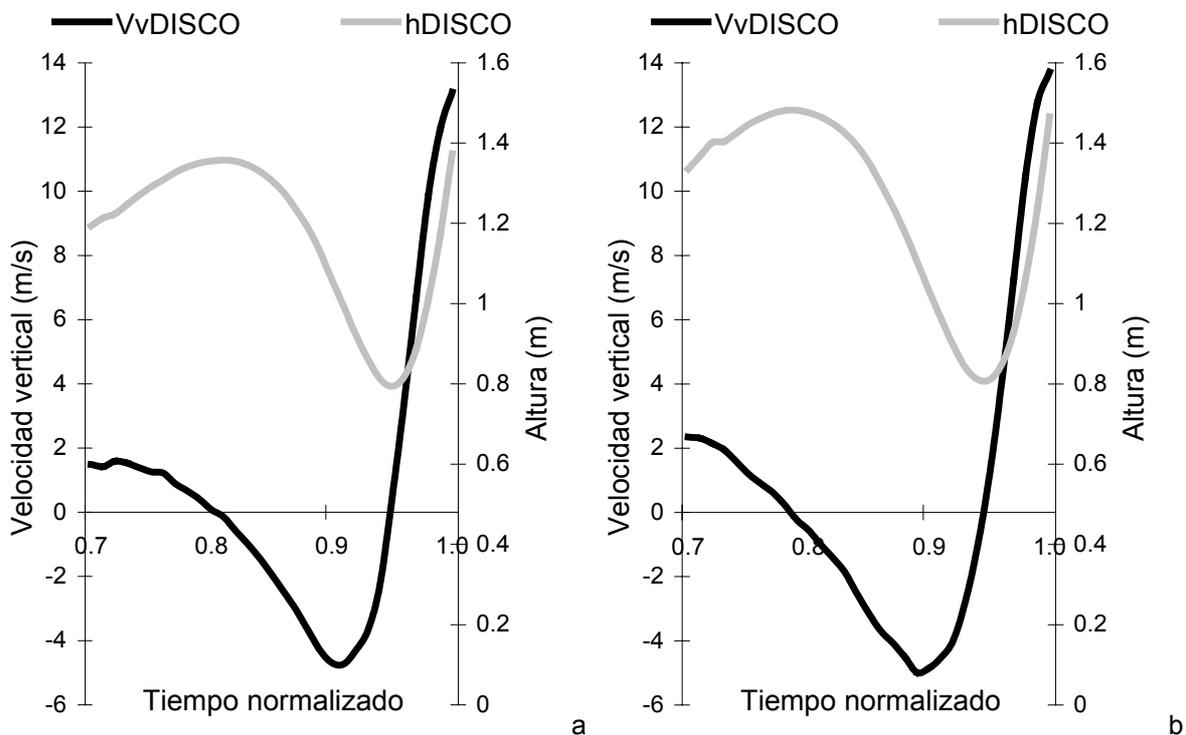


Figura 4.20. Componente vertical de la velocidad absoluta y altura del disco durante las fases 4 y 5 en categoría femenina (a) y en masculina (b). Los valores están normalizados con el tiempo.

Tabla 4.41. Coeficientes de correlación y grado de significación de las relaciones estudiadas con la altura mínima, altura de liberación y diferencias de alturas del disco en la fase 5.

Variable I	Variable II	Sexo	Coeficiente de correlación	Sig. (bilateral)	N
$\Delta_{h_{DISCOmin}-h_{DISCOlib}}$	d_o	♂	$r = 0.090$	$p = 0.771$	13
		♀	$r = -0.210$	$p = 0.513$	12
	$V_{DISCOlib}$	♂	$r = 0.304$	$p = 0.312$	13
		♀	$r = 0.441$	$p = 0.151$	12
	$V_{ZDISCOlib}$	♂	$r = 0.807$	$p = 0.001$	13
		♀	$r = 0.625$	$p = 0.030$	12
$h_{DISCOmin(SAD)}$	d_o	♂	$r = 0.187$	$p = 0.541$	13
		♀	$r = 0.209$	$p = 0.514$	12
	$V_{DISCOlib}$	♂	$r = 0.342$	$p = 0.253$	13
		♀	$r = -0.361$	$p = 0.250$	12
	$\Theta_{RODd(hdisco_min)}$	♂	$r = -0.320$	$p = 0.286$	13
		♀	$r = -0.788$	$p = 0.002$	12
$\Theta_{HOMBd(hdisco_min)}$	♂	$r = 0.170$	$p = 0.579$	13	
	♀	$r = -0.149$	$p = 0.643$	12	
$h_{DISCOlib}$	d_o	♂	$r = 0.233$	$p = 0.443$	13
		♀	$r = -0.100$	$p = 0.758$	12
	$V_{DISCOlib}$	♂	$r = 0.453$	$p = 0.120$	13
		♀	$r = 0.269$	$p = 0.398$	12
	$\Theta_{RODi(lib)}$	♂	$r = -0.834$	$p = 0.001$	13
		♀	$r = -0.045$	$p = 0.889$	12
$\Theta_{HOMBd(lib)}$	♂	$r = 0.557$	$p = 0.048$	13	
	♀	$r = 0.348$	$p = 0.267$	12	

r : Coeficiente de correlación de Pearson. Se señalan con negrita las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de $p < 0.05$. ♂: sexo masculino. ♀: sexo femenino.

En la figura 4.20 se representaron confrontadas la componente vertical de la velocidad absoluta del disco y la altura del disco tanto para categoría masculina como para la femenina. El resultado de ambas gráficas fue similar en los dos sexos. La variable altura del disco mostró dos picos de altura uno máximo y otro mínimo,

anteriores a la liberación del disco, coincidiendo con los instantes de valor 0 de la velocidad vertical.

A la vista de la figura 4.20 parece lógico pensar que una mayor diferencia de altura entre la mínima y la de liberación podría ser un requisito para alcanzar unos mayores valores de velocidad vertical en la liberación ya que ampliaría el hipotético rango de distancia de aceleración. El anterior planteamiento podría confirmarse por el resultado hallado en el presente trabajo que indicó que existía una correlación significativa entre la variable de diferencia de alturas y la velocidad vertical de liberación en ambas categorías (tabla 4.41). A mayor distancia vertical recorrida por el disco, mayor velocidad vertical de liberación.

La altura mínima del disco se logró en el lado opuesto a la zona de liberación del disco y cercana al lugar donde se apoyó el pie del lado ejecutor. Por lo tanto, algunos de los mecanismos que permitirían descender más el disco podrían ser un menor grado de aducción del hombro del lado ejecutor y una mayor flexión de la rodilla del mismo lado. En las figuras 4.21 y 4.22 se representan respectivamente los patrones articulares de la flexo-extensión de las rodillas y los patrones articulares de la abucción-aducción de los hombros. Una vez apoyados los dos pies en el suelo los lanzadores disminuyeron el grado de abducción del hombro del lado ejecutor y mantuvieron una diferencia en el grado de flexión de la rodilla del lado ejecutor con respecto al grado de flexión de la rodilla del lado libre. Estos mecanismos además de propiciar que el disco disminuyese su altura mínima favorecieron que éste en su trayectoria final de atrás hacia delante tuviese un mayor rango articular para acelerar el disco hasta su liberación.

La idea anterior fue soportada por la tendencia negativa en la asociación encontrada en ambas categorías entre la altura mínima del disco y el ángulo de la rodilla en ese preciso instante, que llegó a ser estadísticamente significativa en categoría femenina (tabla 4.41). Los resultados de este trabajo indicaron que en la muestra femenina una mayor flexión de la rodilla del lado ejecutor se relacionaba con menores alturas logradas por el disco. Una mayor flexión de rodilla podría permitir al lanzador usar los músculos de los miembros inferiores con mayor efectividad para ayudar en la aplicación de fuerza al disco en el posterior período ascendente hasta la posición de liberación. Si bien, el ángulo del hombro del lado ejecutor en el instante que el disco

logró su altura mínima no estuvo correlacionado significativamente con el valor de la altura del disco en ese mismo instante, tanto en categoría masculina como femenina.

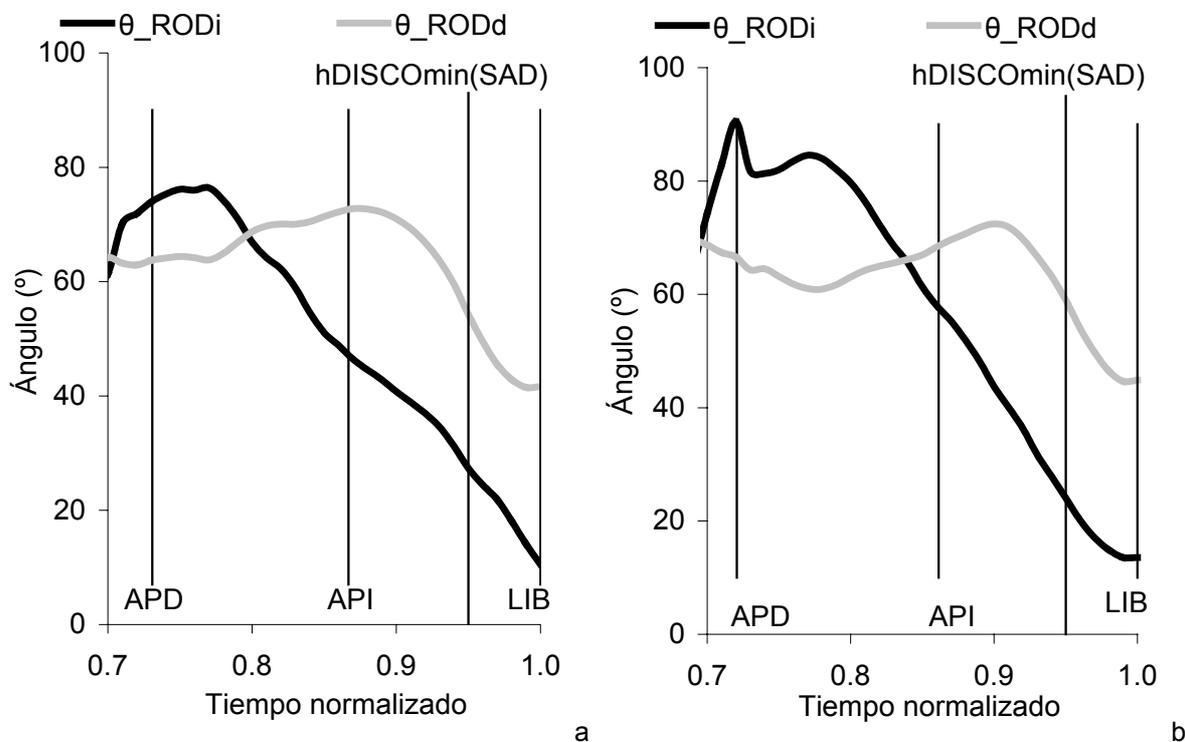


Figura 4.21. Medias de los ángulos de las rodillas del lado ejecutor y lado libre durante las fases 4 y 5 en categoría femenina (a) y en masculina (b). Se indican los instantes de inicio fase 4 (APD), inicio fase 5 (API) e instante de liberación (LIB).

En la última parte de la *Fase de Segundo Apoyo Doble* ambos miembros inferiores realizaron una acción de extensión hasta la liberación desde las articulaciones de las rodillas (figura 4.21) y caderas (4.23). El ángulo de la cadera del lado ejecutor en el instante de liberación fue en categoría masculina de 171° SD 4, en categoría femenina fue 170° SD 6. El ángulo de la cadera del lado contrario en el instante de liberación fue en categoría masculina 153° SD 5, en categoría femenina fue 158° SD 3. El ángulo de la rodilla del lado ejecutor en el instante de liberación fue en categoría masculina de 44° SD 10, en categoría femenina fue 37° SD 10. El ángulo de la rodilla del lado contrario en el instante de liberación fue en categoría masculina 13° SD 8, en categoría femenina fue 10° SD 4. En ambas categorías podemos observar que la rodilla del lado ejecutor llegó al instante de liberación con una mayor flexión que su homóloga. Por el contrario la rodilla del lado contrario alcanzó en el

instante de liberación unos valores cercanos a la extensión total. Estos altos grados de extensión junto con los valores bajos en la desviación estándar encontrados en la muestra estudiada son remarcables y sugieren que llegar al instante de liberación con una extensión completa de los miembros inferiores podría ser considerado una característica importante a analizar. En este mismo sentido se manifestaron las conclusiones encontradas en la bibliografía por Morris (1973b) y Bartonietz y cols. (1996) consideraron que la rodilla del lado no ejecutor debía lograr una extensión completa en el instante de liberación como consecuencia de una vigorosa acción de extensión del miembro inferior del lado no ejecutor, si no se conseguía se podría considerar un grave error técnico.

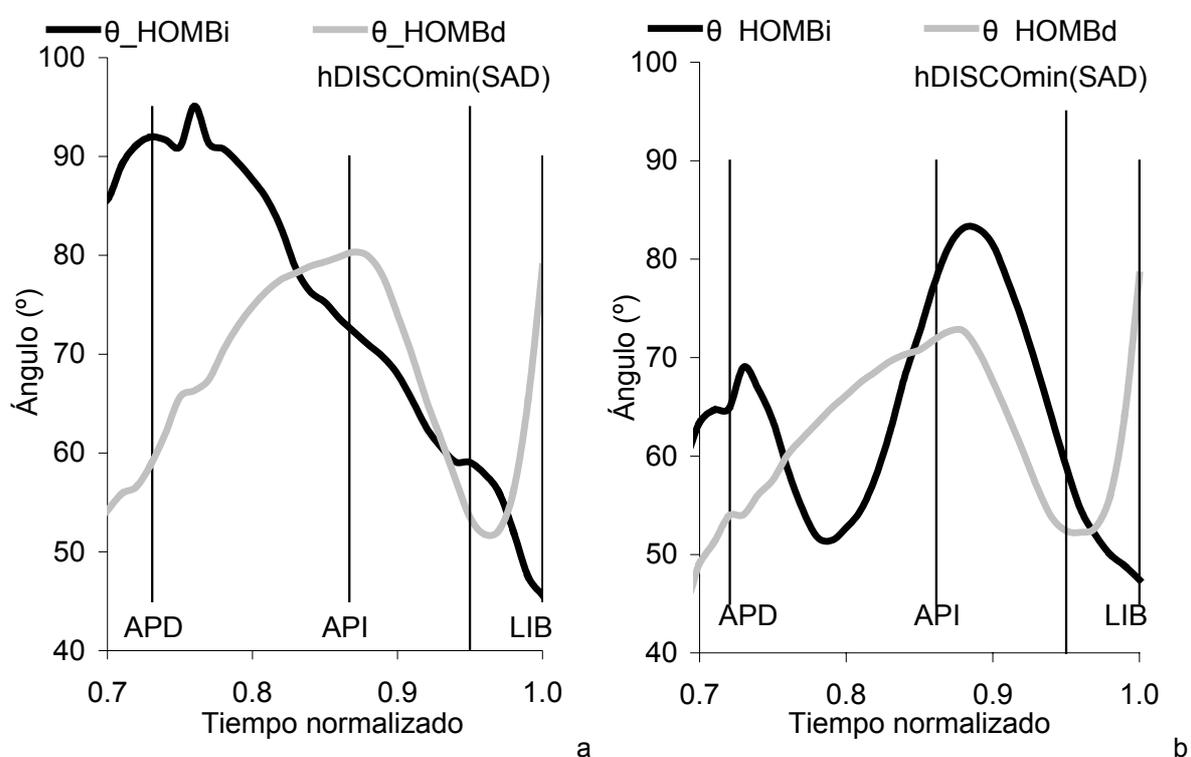


Figura 4.22. Medias de los ángulos de los hombros del lado ejecutor y lado libre durante las fases 4 y 5 en categoría femenina (a) y en masculina (b). Se indican los instantes de inicio fase 4 (APD), inicio fase 5 (API) e instante de liberación (LIB).

El lanzador de disco debe intentar incrementar la altura de liberación del disco lo máximo posible sin perjudicar a otros parámetros. Aparte de la propia estatura, que obviamente no se puede modificar, el atleta puede variar ligeramente su patrón articular en el instante de liberación para incrementar la altura del disco. Aumentar el ángulo de abducción del hombro del lado ejecutor y disminuir la flexión de la rodilla

del miembro inferior que se encuentra en la posición adelantada podrían ser unas de esas acciones (figuras 4.21 y 4.22). En el presente trabajo se encontraron en categoría masculina correlaciones estadísticamente significativas que relacionaban a estas variables (tabla 4.41). Los resultados indicaron que una mayor altura de liberación se relacionaba tanto con un mayor ángulo de abducción de hombro como con un menor ángulo de flexión de rodilla. No obstante en categoría femenina no se hallaron estas mismas asociaciones.

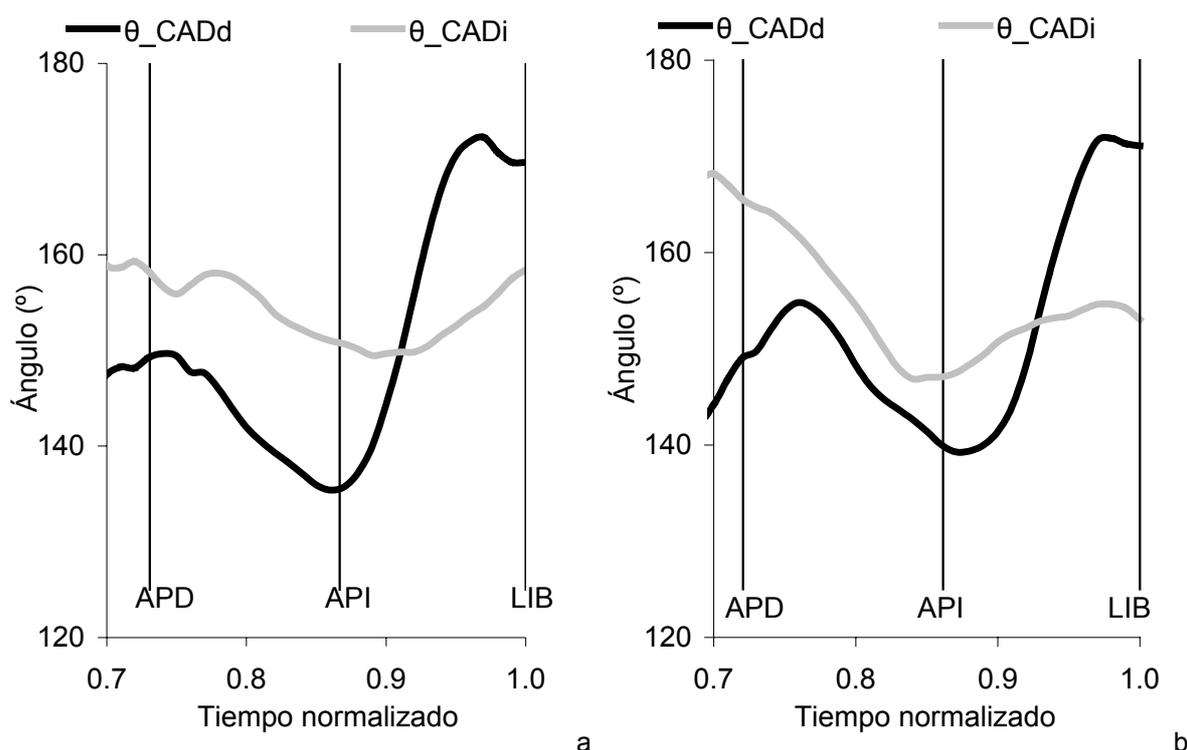


Figura 4.23. Medias de los ángulos de las caderas del lado ejecutor y lado libre durante las fases 4 y 5 en categoría femenina (a) y en masculina (b). Se indican los instantes de inicio fase 4 (APD), inicio fase 5 (API) e instante de liberación (LIB).

Como se vió en el apartado de *Revisión Bibliográfica* esta ampliamente aceptado en la bibliografía consultada que durante esta fase el atleta debe aumentar considerablemente la velocidad del disco como requisito para lograr el éxito en el lanzamiento. En la figura 4.24 se puede observar, tanto en categoría masculina como en femenina, que el aumento de la velocidad absoluta del disco en la fase final fue sustancialmente mayor que en la fase anterior. Los resultados de este trabajo muestran que en los lanzadores estudiados el incremento medio de la velocidad del disco en esta fase fue de 15.5m/s SD 1.7, con un incremento máximo de 18.6m/s y

uno mínimo de 12.7m/s. Las lanzadoras por su parte incrementaron la velocidad del disco en 16.2m/s SD 2.3, con un incremento máximo de 19.1m/s y uno mínimo de 12.2m/s. La velocidad de liberación del disco fue en categoría masculina de 22.8m/s SD 1.1, y en categoría femenina de 22.3m/s SD 0.7.

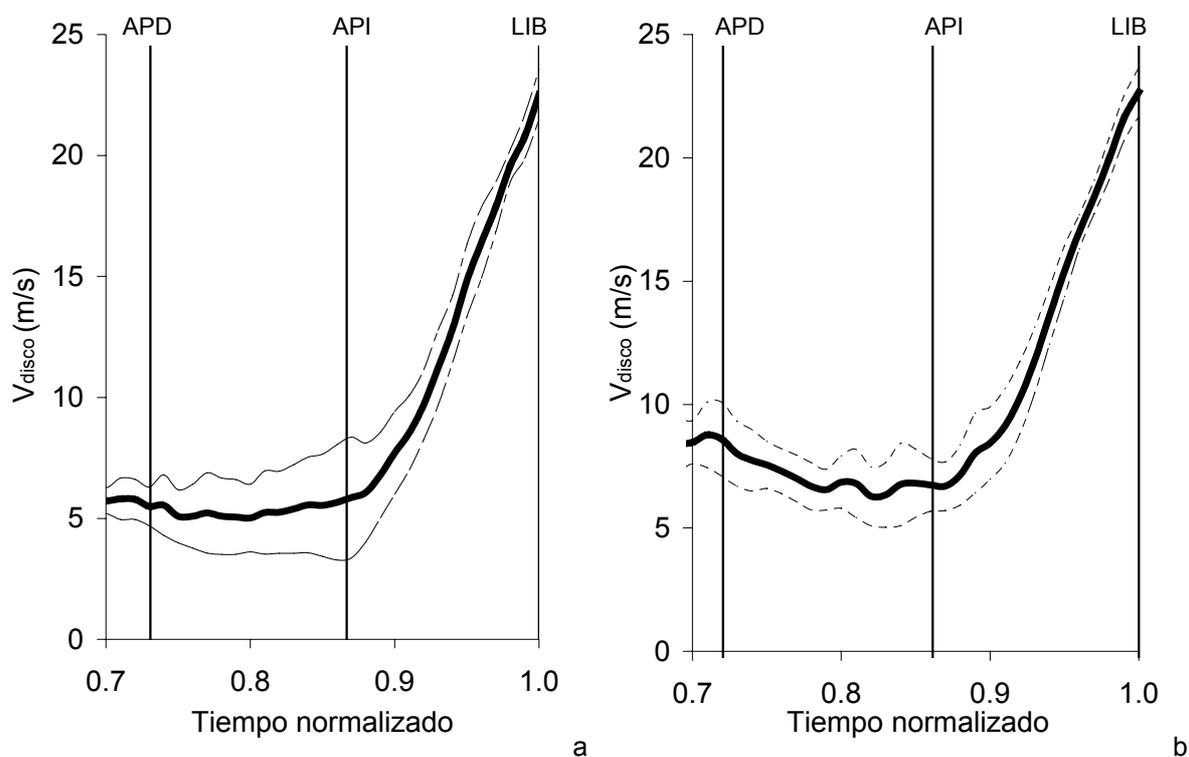


Figura 4.24. Media y desviación estándar de la velocidad absoluta del disco durante las fases 4 y 5 en categoría femenina (a) y en masculina (b). Se indican los instantes de inicio de la fase 4 (APD), inicio de la fase 5 (API) e instante de liberación (LIB).

Los valores de velocidad de liberación del disco fueron generalmente similares a aquellos descritos en estudios anteriores para lanzamientos de distancias equiparables; si bien, lejanos a las velocidades generadas para franquear la distancia de los 60m (Terauds, 1978; Gregor y cols. 1985; McCoy y cols. 1985; Susanka y cols. 1988; Knicker, 1990; 1992; 1994a; 1994b; Hay y Yu, 1995a; 1995b; 1996; Silvestre y McCoy, 1995; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols. 1997; Knicker, 1999). Para las muestras masculino y femenina las medias y desviaciones estandar fueron muy similares por lo que no se encontraron diferencias significativas entre ellas ($t = -1.208$; $p = 0.239$).

En valores de porcentaje el incremento de velocidad del disco en esta fase con relación a la velocidad de liberación fue de 68% SD 6 en categoría masculina y fue

de 72% SD 10 en categoría femenina. Los resultados de este trabajo confirmaron que la *Fase de Segundo Apoyo Doble* fue aprovechada por el atleta para aumentar la velocidad del disco considerablemente, encontrándose en consonancia con los resultados de otros estudios que cifraban el incremento de la velocidad del disco entre el 62% y el 73% (Bartlett, 1992; Hay y Yu 1995a; Knicker, 1999). El alto porcentaje de generación de velocidad de liberación en esta fase podría darnos a entender la elevada importancia de las acciones ejecutadas durante esta fase.

Tabla 4.42. Coeficientes de correlación y grado de significación de las relaciones estudiadas con el incremento de velocidad en la Fase 5.

Variable I	Variable II	Sexo	Coefficiente de correlación	Sig. (bilateral)	N
$\Delta_V_{\text{disco(SAD)}}$	d_0	♂	$r = 0.479$	$p = 0.098$	13
		♀	$r = 0.543$	$p = 0.068$	12
	V_{DISCOlib}	♂	$r = 0.694$	$p = 0.008$	13
		♀	$r = 0.369$	$p = 0.238$	12
V_{DISCOlib}	$V_{\text{XYDISCOlib}}$	♂	$r = 0.836$	$p = 0.001$	13
		♀	$r = 0.802$	$p = 0.002$	12
	$V_{\text{ZDISCOlib}}$	♂	$r = 0.426$	$p = 0.147$	13
		♀	$r = 0.104$	$p = 0.749$	12

r : Coeficiente de correlación de Pearson. Se señalan con negrita las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de $p < 0.05$. ♂: sexo masculino. ♀: sexo femenino.

A pesar del elevado incremento de la velocidad del disco que se produce en esta fase en los resultados de este trabajo no se han encontrado asociaciones significativas entre el incremento y la distancia oficial en ninguna de las dos categorías (tabla 4.42). Aunque en ninguna de las dos categorías se alcanzó el nivel de significación estadística, sí se muestra una tendencia hacia el efecto. En categoría masculina el incremento de velocidad absoluta en la *Fase de Segundo Apoyo Doble* obtuvo relaciones significativas positivas con la velocidad de liberación (tabla 4.42). Estos datos podrían indicar la posibilidad de que el incremento de la velocidad del disco en esta fase tenga una gran influencia causal sobre la velocidad de liberación. En categoría femenina no se obtuvo ninguna correlación significativa entre las mismas variables anteriores. Esta diferencia entre sexos podría indicar

diferencias técnicas importantes o simplemente que en este estudio se ha obtenido un rango de valores en esas variables insuficiente para establecer una correlación significativa.

Los resultados encontrados en la bibliografía consultada difieren ligeramente de los obtenidos en el presente trabajo. Schlüter y Nixdorf (1984) obtuvieron una correlación positiva significativa ($r = 0.96$) entre el incremento de velocidad y la distancia oficial para una muestra de ocho lanzadores de disco masculinos. Hay y Yu (1995a) concluyeron en su estudio que el cambio en la velocidad del disco durante la *Fase de Segundo Apoyo Doble* fue el parámetro más influyente para explicar las diferencias en las distancias de lanzamiento en categoría masculina. Mientras en categoría femenina los cambios en la velocidad del disco durante las *Fases de Vuelo* y de Segundo Apoyo Doble fueron ambos igualmente influyentes en explicar las diferencias en las longitudes lanzadas.

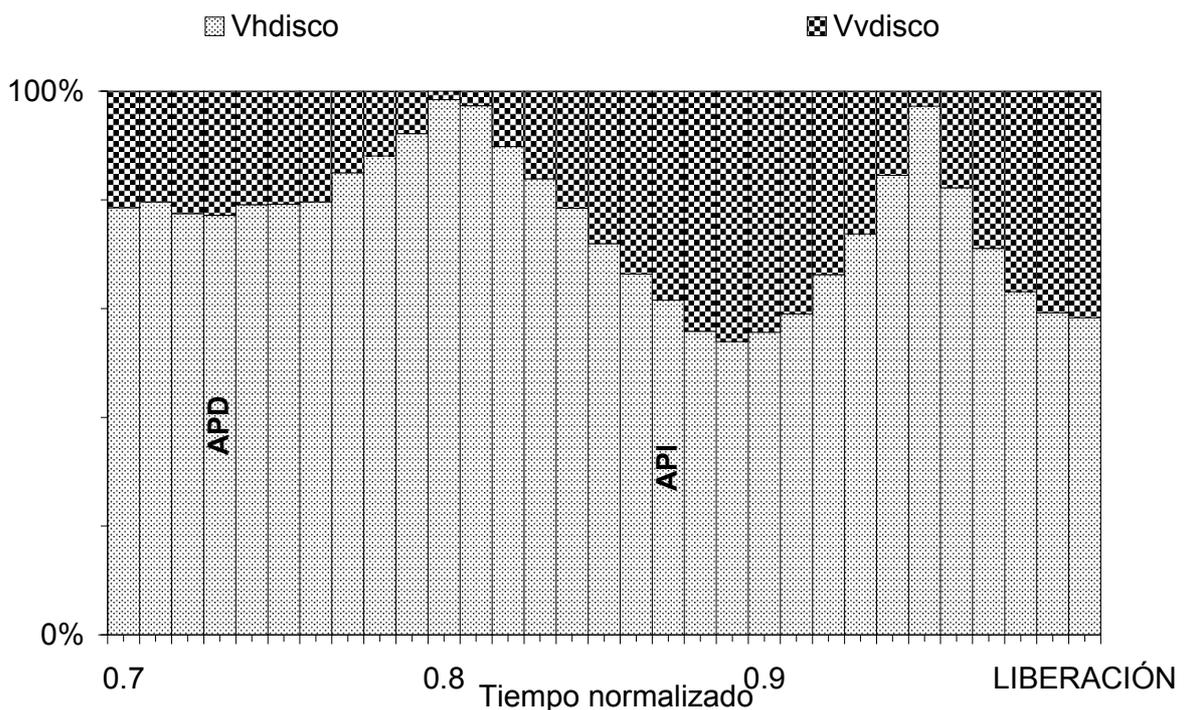


Figura 4.25. Componentes horizontal y vertical de la velocidad absoluta del disco durante el lanzamiento en categoría femenina. Se indican los instantes de inicio de la fase 4 (APD), inicio de la fase 5 (API) y liberación.

En las figuras 4.25 y 4.26 se graficaron los porcentajes de contribución de las componentes horizontal y vertical a la velocidad resultante. Las distribuciones de

contribución de cada componente fueron similares en los dos sexos. En la figura se muestra que en el instante de liberación la contribución de la componente horizontal a la velocidad resultante fue mayor que la componente vertical. En la muestra de este trabajo se halló que existía una correlación significativa entre la variable componente horizontal y la variable velocidad resultante (tabla 4.42). Ambos resultados podrían sugerir un importante rol de la componente horizontal en determinar la velocidad resultante de liberación.

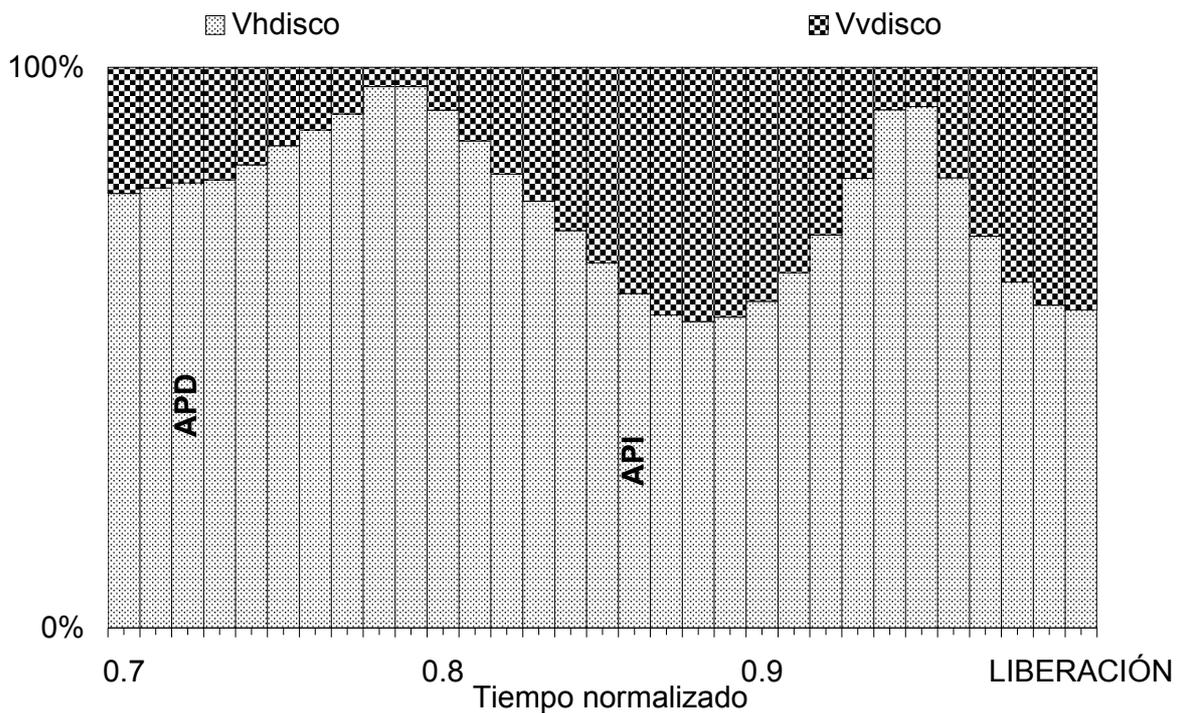


Figura 4.26. Componentes horizontal y vertical de la velocidad absoluta del disco durante el lanzamiento en categoría masculina. Se indican los instantes de inicio de la fase 4 (APD), inicio de la fase 5 (API) y liberación.

La combinación entre los componentes horizontal y vertical de la velocidad de liberación determinará el ángulo de salida del disco. El ángulo de liberación del disco en categoría masculina fue de 38° SD 3, con un máximo de 43° y un mínimo de 33° . En categoría femenina el ángulo fue de 36° SD 3, con un máximo de 42° y un mínimo de 32° .

Los ángulos de liberación obtenidos en este estudio fueron ligeramente superiores a los datos de la literatura científica, que como mencionamos en el apartado de *Revisión Bibliográfica* son de entre 35° - 37° para los hombres y de entre 35° - 36°

para las mujeres (Soong, 1976; Frohlich, 1981; Bartlett, 1992). No se han encontrado correlaciones significativas entre el ángulo de liberación y la distancia oficial en categoría masculina pero sí en categoría femenina (tabla 4.43). La asociación encontrada en las lanzadoras fue de sentido negativo; a mayor ángulo, menor distancia oficial. Sorprende la relación encontrada ya que el ángulo es un parámetro optimizable, tan perjudicial es un valor muy elevado como uno muy disminuido. La posible explicación a la correlación encontrada podría ser debida al elevado ángulo de liberación registrado por el sujeto con el lanzamiento más corto. Sin este intento, la correlación entre las dos variables debería haber sido cercana a cero ($r = -0.081$; $p = 0.813$) (figura 4.27).

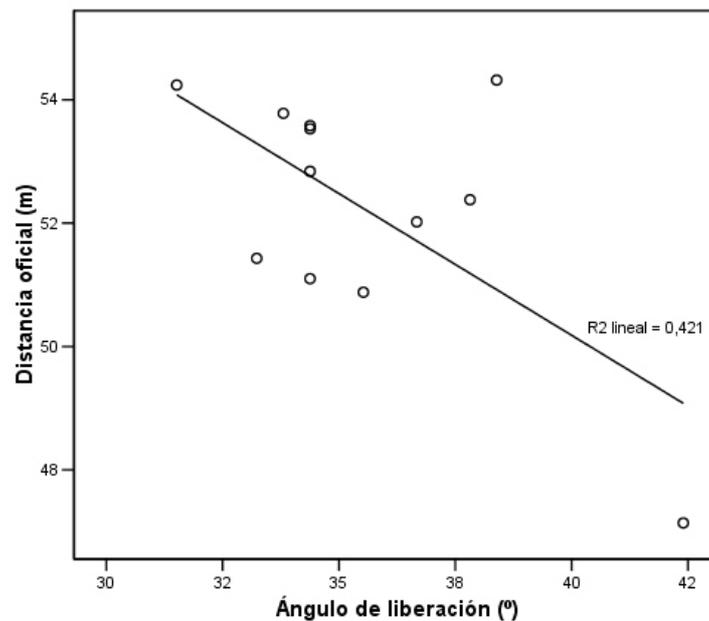


Figura 4.27. Relación en categoría femenina entre el ángulo en el instante de liberación del disco y la distancia oficial.

En la muestra estudiada no se encontraron correlaciones significativas entre las variables de ángulo de liberación y velocidad resultante de liberación. No obstante, se encontró un alto grado de correlación entre el ángulo de salida y las componentes horizontal y vertical de la velocidad de liberación. Los sentidos de ambas asociaciones fueron contrarios, de sentido negativo en la asociación entre el ángulo y la componente horizontal, y de sentido positivo en la relación entre el ángulo y la

componente vertical. Cualquier aumento considerable de las componentes horizontal y vertical incrementaría la velocidad resultante, sin duda uno de los objetivos del lanzador de disco. La relación positiva entre la componente vertical y el ángulo podría confirmar que una alta componente vertical induciría a aumentar el ángulo. Como discutimos en párrafos anteriores el ángulo de liberación del disco es un parámetro optimizable, en consecuencia, deduciríamos que un cuantioso aumento de la componente vertical podría perjudicar a la distancia de lanzamiento puesto que vendría asociado con un incremento del ángulo de liberación. Por otro lado, la negativa relación entre la componente horizontal y el ángulo de liberación da indicios de que aumentos de la componente horizontal se relacionan con descensos en el ángulo de liberación; que consecuentemente con el mismo planteamiento anterior pero con el efecto contrario podría perjudicar de nuevo a la distancia de lanzamiento. Se podría concluir por tanto, que los resultados de este trabajo confirman que el ángulo de salida estuvo determinado por las dos componentes de la velocidad resultante; y que las posibles adaptaciones técnicas que realice el lanzador o técnicos deportivos enfocadas a la mejora de una de las dos componentes deberían ir acompañadas con modificaciones en la otra componente para mejorar la distancia de lanzamiento.

Tabla 4.43. Coeficientes de correlación y grado de significación de las relaciones estudiadas con el ángulo de liberación del disco.

Variable I	Variable II	Sexo	Coeficiente de correlación	Sig. (bilateral)	N
Θ_{DISCOlib}	d_O	♂	$r = -0.243$	$p = 0.424$	13
		♀	$r = -0.649$	$p = 0.023$	12
	V_{DISCOlib}	♂	$r = -0.284$	$p = 0.347$	13
		♀	$r = -0.394$	$p = 0.205$	12
	$V_{\text{XYDISCOlib}}$	♂	$r = -0.762$	$p = 0.002$	13
		♀	$r = -0.864$	$p = 0.001$	12
	$V_{\text{ZDISCOlib}}$	♂	$r = 0.745$	$p = 0.003$	13
		♀	$r = 0.872$	$p = 0.001$	12

r : Coeficiente de correlación de Pearson. Se señalan con negrita las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de $p < 0.05$. ♂: sexo masculino. ♀: sexo femenino.

Hay y Yu (1995a) en su estudio con una muestra de lanzadores y lanzadoras coincidió de forma general con los resultados de este trabajo. Los autores no encontraron ninguna correlación significativa entre la variable ángulo de liberación y las variables distancia oficial y velocidad de liberación en ninguna de las dos categorías.

Durante la fase 5, la aceleración del disco se logra tanto por la contracción de los músculos del tronco como a través de la transferencia del momento angular. La velocidad de liberación del disco es máxima si hay una deceleración secuencial de todos los segmentos del cuerpo. En el instante de liberación, la velocidad de los miembros proximales deberían ser cercanas a cero. En la figura 4.22 se puede observar en ambas categorías como en la *Fase de Segundo Apoyo Doble* el ángulo de abducción del hombro del lado libre cada vez fue más reducido; a menor ángulo mayor aproximación del miembro superior hacia el tronco. Llevar el miembro superior libre cercano al cuerpo y frenar su movimiento ayudaría a bloquear el movimiento del lado libre del atleta y, consecuentemente, facilitaría la transferencia de momento angular hacia el lado ejecutor y en última instancia hacia el disco. Con el mismo propósito de acelerar al máximo del miembro más distal, los miembros más proximales van desacelerando su movimiento. En la figura 4.28 se puede observar en ambas categorías un patrón con consecutivas aceleraciones y deceleraciones de los principales segmentos del cuerpo. El pico de velocidad del centro de cada articulación se produjo en una secuencia desde los segmentos distales hasta los segmentos proximales. Los segmentos distales alcanzaron sus máximas velocidades después de que lo lograra el segmento proximal más cercano. De esta forma se confirma con la muestra de este estudio la utilización de un sistema ordenado de impulsos parciales que se iniciaron en las partes más distantes al disco y que terminaron con la liberación de éste.

En la fase anterior el atleta alcanzó su máxima torsión; desde ese instante hasta el momento de la liberación del disco, el atleta giró hacia la dirección del lanzamiento perdiendo grado de torsión hasta sus valores más bajos (figuras de la 4.9 a la 4.14). En el instante de liberación la magnitud del ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de caderas fue en categoría masculina de -14° SD 19, con un valor máximo de 20° y uno mínimo de -47° . En categoría femenina el valor medio de la misma variable fue de -6° SD 14, con un valor máximo de 28° y uno mínimo de

-22°. Dapena y Anderst (1997) defendieron la selección de la variable ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de caderas sobre los restantes ángulos como la que mejor representa la acción de recobro motivada por la posibilidad de que algún atleta realice la liberación sin apoyos.

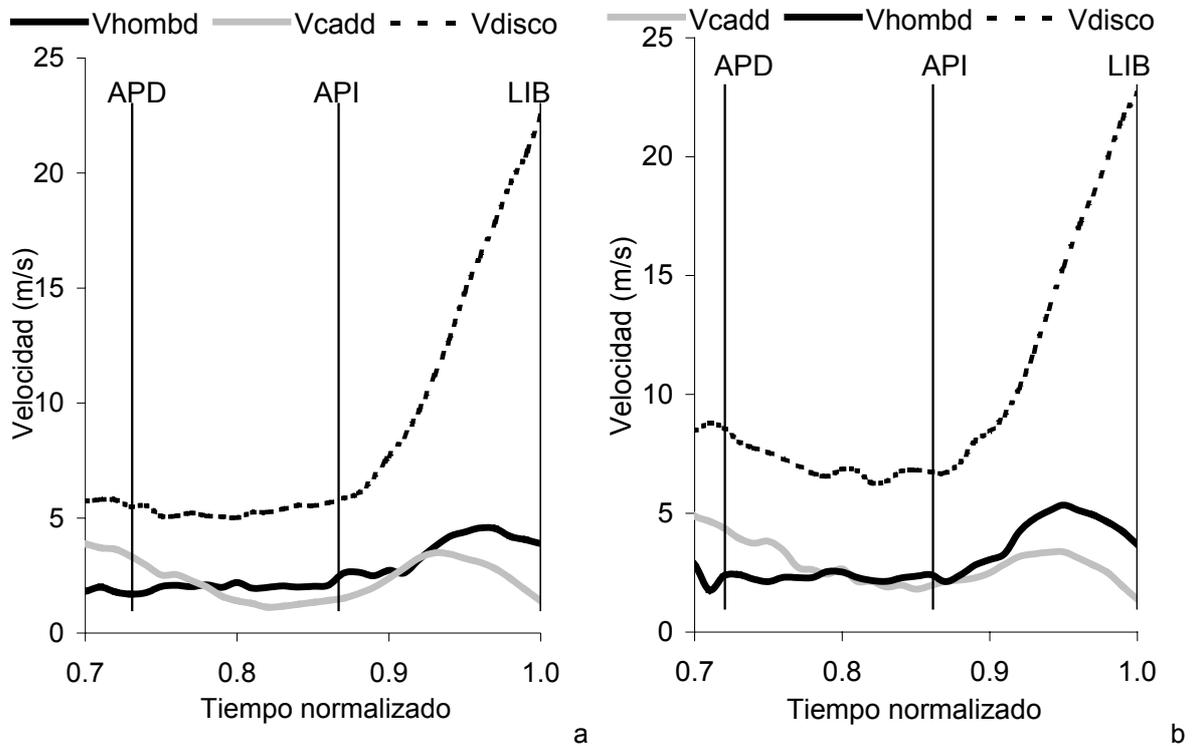


Figura 4.28. Media de las velocidades de la cadera, hombro del lado ejecutor y disco durante las fases 4 y 5 en categoría femenina (a) y en masculina (b). Se indican los instantes de inicio fase 4 (APD), inicio fase 5 (API) e instante de liberación.

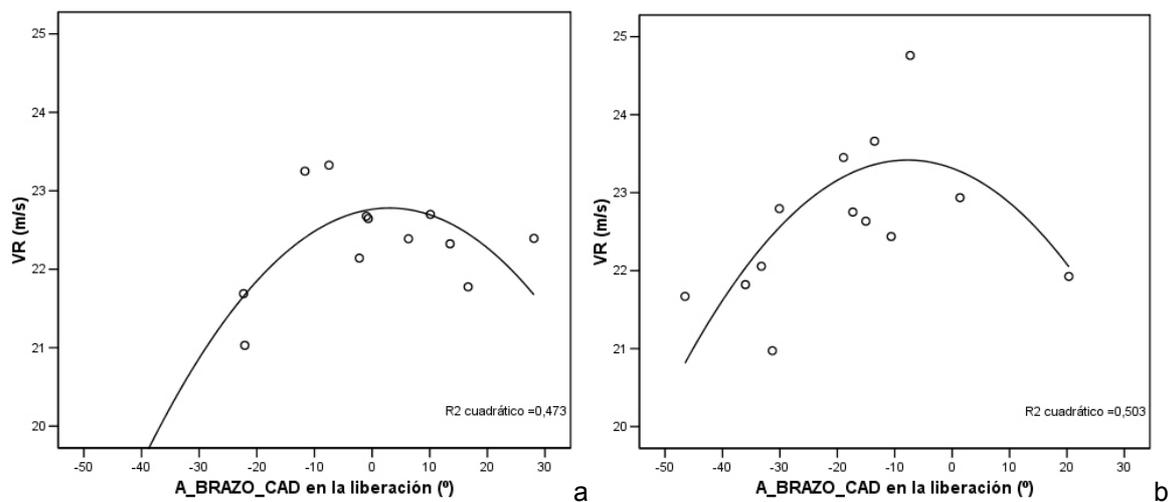


Figura 4.29. Relación entre la velocidad de liberación y el ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de caderas en categoría femenina (a) y en categoría masculina (b).

La elección del instante de liberación del disco siempre es crítica. Liberar el disco antes de que el atleta haya deseado la torsión completamente se considera un error por no aprovechar todo el espacio generado anteriormente para acelerar el disco. De igual forma liberarlo demasiado tarde podría llevar al lanzador a cometer un nulo porque éste podría no seguir la dirección más adecuada y chocar contra la jaula. Tanto en la muestra femenina como en la masculina estudiada en este trabajo se pudo observar que los lanzamientos que se realizaron con una velocidad de liberación mayor se ejecutaron cuando el ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor (derecho) y el eje de caderas se aproximó al valor cero. Los resultados de este trabajo podrían confirmar la existencia de un instante óptimo para liberar el disco que coincidiría con el instante en el que la línea del miembro superior ejecutor y el eje de caderas se encuentren en paralelo.

La posición del tronco en el instante de liberación se definió en este trabajo con dos variables: ángulo de flexo-extensión y ángulo de inflexión lateral. En categoría masculina el ángulo de flexo-extensión fue de 102° SD 8, con un valor máximo de 118° y un valor mínimo de 93° . En categoría femenina el ángulo de flexo-extensión fue de 99° SD 8, con un valor máximo de 116° y un valor mínimo de 87° . En categoría masculina el ángulo de inflexión lateral fue de 93° SD 12, con un valor máximo de 113° y un valor mínimo de 76° . En categoría femenina el ángulo de inflexión lateral fue de 85° SD 9, con un valor máximo de 93° y un valor mínimo de 67° . Los resultados de este trabajo mostraron que aunque los valores obtenidos en el análisis son cercanos a cero, los lanzadores llegaron al instante de liberación con una ligera extensión e inflexión lateral hacia el lado libre; mientras que las lanzadoras liberan el disco igualmente con una ligera extensión pero con una inflexión lateral hacia el lado ejecutor.

Los resultados de este trabajo, en referencia a la postura del tronco, fueron semejantes a los hallados en la literatura científica. En la bibliografía se describió que, en la liberación, el ángulo de flexo-extensión del tronco se hallaba en un rango de 107° a 86° en categoría masculina (Gregor y cols. 1985; Silvester y McCoy, 1995), y en un rango de 103° y 94° en categoría femenina (Gregor y cols. 1985). Silvester y McCoy (1995) encontraron que lanzadores masculinos de categoría elite liberaban el disco con una inclinación medio-lateral de 86° SD 7. Susanka y cols.

(1988) por su parte observaron que la media de las lanzadoras liberaban el disco ligeramente inclinadas hacia el lado ejecutor.

En los resultados de este trabajo no se encontró ninguna correlación estadísticamente significativa entre las variables que definen la posición del tronco y las variables finales de velocidad de liberación y distancia oficial (tabla 4.44).

Tabla 4.44. Coeficientes de correlación y grado de significación de las relaciones estudiadas con el incremento de velocidad en la Fase 5.

Variable I	Variable II	Sexo	Coeficiente de correlación	Sig. (bilateral)	N
$\Theta_{ap_TRONCO_{lib}}$	d _O	♂	<i>r</i> = -0.152	<i>p</i> = 0.620	13
		♀	<i>r</i> = 0.028	<i>p</i> = 0.931	12
	V _{DISCO_{lib}}	♂	<i>r</i> = -0.467	<i>p</i> = 0.108	13
		♀	<i>r</i> = 0.242	<i>p</i> = 0.448	12
$\Theta_{ml_TRONCO_{lib}}$	d _O	♂	<i>r</i> = 0.029	<i>p</i> = 0.925	13
		♀	<i>r</i> = -0.131	<i>p</i> = 0.685	12
	V _{DISCO_{lib}}	♂	<i>r</i> = -0.443	<i>p</i> = 0.130	13
		♀	<i>r</i> = -0.169	<i>p</i> = 0.600	12

r: Coeficiente de correlación de Pearson. Se señalan con negrita las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de $p < 0.05$. ♂: sexo masculino. ♀: sexo femenino.

En la figura 4.6 se puede observar que la posición del disco en el instante de liberación fue diferente en ambas categorías. En categoría masculina el disco fue liberado encima del perímetro del círculo de lanzamiento, mientras en categoría femenina la liberación se realizó en una posición más retrasada dentro del círculo de lanzamiento. El valor de la distancia perdida en la muestra estudiada fue de -0.03m SD 0.13 en categoría masculina, y de -0.28m SD 0.21 en categoría femenina. Ninguna correlación significativa fue encontrada entre la distancia perdida y los parámetros finales de velocidad de liberación y distancia oficial (tabla 4.45). Aunque no se detectaron correlaciones significativas, aunque apenas sean unos centímetros y aunque su porcentaje respecto a la distancia oficial no alcance el 1% no se debe infravalorar esta distancia perdida. En muchos campeonatos importantes las diferencias que deciden el orden a los tres primeros clasificados apenas se separan unos centímetros. Entre ambas categorías los valores medios y las desviaciones

estándar fueron notablemente diferentes, como así lo evidencia las diferencias estadísticamente significativas encontradas ($t = -3.467$; $p = 0.003$). La posible causa de esta discrepancia de valores podría ser un mayor aprovechamiento por parte de los lanzadores masculinos del diámetro del círculo de lanzamiento. Una medida que puede dar una idea de ese aprovechamiento es la posición del pie adelantado (izquierdo) en el instante de liberación del disco. En este estudio se calculó la distancia horizontal más corta entre el pie adelantado y el perímetro del círculo. En esta variable se encontraron diferencias significativas entre géneros ($t = 2.295$; $p = 0.034$). Estas diferencias indicaron que las lanzadoras se posicionaban más retrasadas que los hombres con lo que no aprovecharían todo el diámetro del círculo para realizar el gesto. Una mayor distancia estaría asociada a una liberación del disco más retrasada con lo que el valor de la variable distancia perdida aumentaría. Esta presunción estaría refrendada por la correlación negativa encontrada entre ambas variables en la muestra de categoría femenina de este trabajo (tabla 4.45).

Tabla 4.45. Coeficientes de correlación y grado de significación de las relaciones estudiadas con la distancia perdida.

Variable I	Variable II	Sexo	Coeficiente de correlación	Sig. (bilateral)	N
d _p	d _o	♂	$r = -0.161$	$p = 0.600$	13
		♀	$r = 0.077$	$p = 0.812$	12
	V _{DISCOlib}	♂	$r = -0.298$	$p = 0.323$	13
		♀	$r = 0.412$	$p = 0.183$	12
	d _h _META _i (lib)-PC	♂	$r = -0.342$	$p = 0.252$	13
		♀	$r = -0.775$	$p = 0.003$	12

r: Coeficiente de correlación de Pearson. Se señalan con negrita las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de $p < 0.05$. ♂: sexo masculino. ♀: sexo femenino.

Hay y Yu (1995a) calcularon la distancia perdida en una muestra de lanzadores y lanzadoras. Los valores obtenidos para esta distancia fueron ligeramente mayores a los de este trabajo (masculino -0.39m SD 0.21; femenino -0.42m SD 0.22). Aunque Hay y Yu (1995a) advirtieron que la posible causa de la diferencia entre aquellos sujetos que lograron los valores máximo y mínimo en la distancia perdida podría ser la posición de los pies, aunque en este estudio no se calculó las coordenadas de los

pies en el instante de liberación para poder compararlas con los datos del presente trabajo.

De los 13 lanzamientos analizados en este trabajo para categoría masculina en 4 ocasiones se liberó el disco sin apoyo de los pies. En categoría femenina 3 ocasiones de los 12 lanzamientos fueron los que se ejecutaron sin apoyo de pies en la liberación. Tanto en categoría masculina como en femenina la mayoría de los lanzamientos se realizaron en apoyo.

4.2.4 VUELO DEL DISCO

La distancia oficial media en categoría masculina fue 52.97m SD 4.00, con una distancia máxima registrada de 62.00m y una mínima de 47.52m. En categoría femenina la distancia oficial media fue 52.01m SD 2.12, con una distancia máxima registrada de 54.32m y una mínima de 47.14m. La distancia de vuelo media en categoría masculina fue 53.00m SD 4.00, con una distancia máxima calculada de 62.02m y una mínima de 47.45m. En categoría femenina la distancia oficial media fue 52.28m SD 2.11, con una distancia máxima calculada de 54.56m y una mínima de 47.31. En ambas categorías la media, la desviación estándar y los valores máximos y mínimos de la distancia de vuelo fueron similares a los alcanzados en la distancia oficial. Los valores medios de las distancias oficial y de vuelo fueron similares en sendas categorías. Por el contrario, existieron diferencias entre los dos sexos en la variabilidad de los datos. La desviación estándar de los lanzadores fue aproximadamente el doble que la desviación estándar de las lanzadoras. Estas diferencias en el rango de variación tendrán su influencia sobre los resultados obtenidos en los métodos de correlación.

En la tabla 4.46 se presentan las relaciones encontradas entre la distancia oficial, la de vuelo y los diferentes parámetros de liberación del disco. En ambas categorías las magnitudes obtenidas entre la distancia oficial y de vuelo con los diferentes parámetros de salida del disco fueron notablemente similares. Esta circunstancia sugeriría que ambas distancias estuvieron estrechamente relacionadas, indicio ratificado por la alta magnitud de la correlación hallada entre la distancia oficial y la distancia de vuelo.

La magnitud más alta de asociación entre las distancias y los parámetros de liberación se hizo presente con la variable velocidad de liberación. Estas correlaciones fueron estadísticamente significativas en ambas categorías y fueron consecuentes con algunos de los estudios consultados (Schlüter y Nixdorf, 1984; Knicker, 1990; Bartlett, 1992; Hay y Yu, 1995a).

La importancia de la velocidad de liberación, vista en los resultados de este estudio y en la bibliografía consultada, refrenda el criterio de los técnicos deportivos de incluir un alto porcentaje de entrenamiento enfocado a incrementar al máximo la velocidad de salida del disco generada por el atleta.

Tabla 4.46. Coeficientes de correlación y grado de significación de las relaciones estudiadas con las distancias oficial y de vuelo.

Variable I	Variable II	Sexo	Coeficiente de correlación	Sig. (bilateral)	N
d_o	$V_{DISCOlib}$	♂	$r = 0.737$	$p = 0.004$	13
		♀	$r = 0.657$	$p = 0.020$	12
	$\Theta_{DISCOlib}$	♂	$r = -0.243$	$p = 0.424$	13
		♀	$r = -0.649$	$p = 0.023$	12
	$h_{DISCOlib}$	♂	$r = 0.233$	$p = 0.443$	13
		♀	$r = -0.100$	$p = 0.758$	12
d_v		♂	$r = 0.984$	$p = 0.001$	13
		♀	$r = 0.995$	$p = 0.001$	12
d_v	$V_{DISCOlib}$	♂	$r = 0.897$	$p = 0.001$	13
		♀	$r = 0.618$	$p = 0.032$	12
	$\Theta_{DISCOlib}$	♂	$r = -0.282$	$p = 0.351$	13
		♀	$r = -0.696$	$p = 0.012$	12
	$h_{DISCOlib}$	♂	$r = 0.185$	$p = 0.546$	13
		♀	$r = 0.125$	$p = 0.700$	12

r : Coeficiente de correlación de Pearson. Se señalan con negrita las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de $p < 0.05$. ♂: sexo masculino. ♀: sexo femenino.

Dos asociaciones significativas más fueron halladas en los resultados de este trabajo, una entre la distancia oficial y el ángulo de liberación, y la segunda entre la

distancia de vuelo y el ángulo de liberación; ambas se produjeron en categoría femenina y las dos tuvieron sentido negativo (tabla 4.46). Las dos correlaciones sugieren que las lanzadoras consiguieron mayores distancias tanto oficiales como de vuelo cuando el ángulo de liberación del disco era menor. La interpretación a esta relación ya fue comentada en este mismo trabajo en el apartado de discusión de la fase anterior cuando se deliberó la relación entre el ángulo y la distancia oficial. La misma interpretación es válida para la asociación entre la distancia de vuelo y el ángulo de liberación.

Las relaciones entre las distancias de lanzamiento y el resto de parámetros finales de liberación fueron en general de magnitudes débiles.

En categoría masculina, en 10 lanzamientos de los 13 analizados, durante la fase aérea las fuerzas aerodinámicas ejercidas sobre el disco sirvieron para incrementar la distancia de lanzamiento, para los restantes 3 lanzamientos tuvieron un efecto opuesto. Los valores de la distancia aerodinámica estuvieron dentro del rango -4.72m y 4.60m , con un valor medio de 0.22m SD 2.52 . En categoría femenina, en 10 lanzamientos sobre 12 analizados, el efecto de las fuerzas aerodinámicas fue positivo, mientras en los restantes 2 fue negativo. Los valores de la distancia aerodinámica estuvieron dentro del rango -3.39m y 5.41m , con un valor medio de 2.38m SD 3.06 . Con solamente unas pocas excepciones, las fuerzas aerodinámicas ejercidas sobre el disco durante su vuelo sirvieron para incrementar la distancia oficial. Los valores algo más elevados de las distancias aerodinámicas de las lanzadoras pueden sugerir que se beneficiaron más de los efectos de las fuerzas aerodinámicas durante la fase aérea que los lanzadores. Este presumible mayor beneficio podría ser debido a una mejor elección de los parámetros de salida del disco en función de las condiciones climatológicas, o a las mejores características aerodinámicas del disco femenino (Frohlich, 1992). No obstante no se encontraron diferencias significativas entre sus valores medios ($t = 1.932$, $p = 0.066$) aunque el grado de significación tendió al efecto.

Los resultados obtenidos en esta variable fueron menores a los calculados por Hay y Yu (1995a) en ambas categorías, por Dapena y Anderst (1997) en categoría masculina y por Dapena y cols. (1997) en categoría femenina. También se registraron unas distancias oficiales más largas en ambas categorías en los estudios

citados anteriormente que en el presente trabajo. Estas dos diferencias podrían dar a entender que aquellos atletas que ejecutan lanzamientos más largos aprovechan mejor las fuerzas aerodinámicas para alargar la teórica distancia lanzada. Este razonamiento podría estar apoyado por el hecho de que a pesar de lograr distancias teóricas balísticas similares en el estudio de Dapena y cols. (1997) (51.34m SD 3.93) y en el presente trabajo (49.91m SD 3.11); las distancias oficiales fueron sustancialmente más largas en el estudio de Dapena y cols. (1997) (57.90m SD 7.51) que en las del presente trabajo (52.01m SD 2.12). No obstante estos resultados hay que tomarlas con cautela ya que en ninguno de los dos estudios se midieron las condiciones climatológicas que sin duda influyen en demasía en el comportamiento del disco en la fase aérea.

Tabla 4.47. Coeficientes de correlación y grado de significación de las relaciones estudiadas con la distancia aerodinámica.

Variable I	Variable II	Sexo	Coeficiente de correlación	Sig. (bilateral)	N
d_A	$V_{DISCOlib}$	♂	$r = -0.431$	$p = 0.142$	13
		♀	$r = -0.502$	$p = 0.096$	12
	$\theta_{DISCOlib}$	♂	$r = -0.394$	$p = 0.183$	13
		♀	$r = -0.482$	$p = 0.113$	12
	$h_{DISCOlib}$	♂	$r = -0.856$	$p = 0.001$	13
		♀	$r = -0.343$	$p = 0.275$	12

r : Coeficiente de correlación de Pearson. Se señalan con negrita las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de $p < 0.05$. ♂: sexo masculino. ♀: sexo femenino.

En la tabla 4.47 se presentan las relaciones entre la distancia aerodinámica y los diferentes parámetros de liberación del disco. No se encontraron correlaciones significativas salvo, sorprendentemente, en categoría masculina entre la distancia aerodinámica y la altura de liberación. El sentido de esta asociación fue inverso relacionando mayores distancias aerodinámicas con menores alturas de liberación. En la literatura científica revisada no se encontró ninguna mención a que la distancia aerodinámica pudiese estar influenciada por la altura de liberación del disco (Bartlett, 1992; Frolich, 1992). Consecuentemente, la asociación encontrada podría o bien tener un carácter arbitrario o bien podría existir un factor de confusión no estudiado

en este trabajo que determine a ambas variables. No obstante son necesarios más estudios en esta dirección que acepten o rechacen esta correlación.

Conclusiones

5 CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones obtenidas tras finalizar la tesis. Con el fin de comprobar en qué medida han sido cubiertos los objetivos previstos, éstos se asocian a las conclusiones.

Las conclusiones se agrupan en tres apartados relacionados con:

- Aspectos metodológicos.
- Resultados y discusión del estudio.
- Proyección de los resultados del estudio y futuras líneas de trabajo.

5.1 CONCLUSIONES RELACIONADAS CON ASPECTOS METODOLÓGICOS

Con relación al objetivo de *recopilar la información sobre la técnica de lanzamiento de disco que se halla dispersa en la literatura científica, por un lado, los estudios biomecánicos realizados con sofisticadas técnicas instrumentales y, por otro, los análisis publicados por los técnicos deportivos basados en métodos de observación cualitativos* las conclusiones más destacables son:

1. Se ha recabado la información relativa a las variables cinemáticas y cinéticas de la técnica del lanzamiento de disco que, en la bibliografía consultada, se trataban en trabajos dispersos. Esta recopilación ha permitido poner de manifiesto el estado de conocimientos de la técnica del lanzamiento de disco y destacar las carencias encontradas en la bibliografía consultada.
2. Se han interrelacionado los estudios cualitativos procedentes de los técnicos deportivos con los estudios cuantitativos biomecánicos realizados con técnicas de campo y laboratorio precisas, permitiendo relacionar el lenguaje de los técnicos deportivos con el de los biomecánicos

Con relación al objetivo de *llevar a cabo una puesta a punto de un método de análisis cinemático tridimensional utilizando técnicas de fotogrametría cine de alta velocidad* las conclusiones más destacables son:

3. Se ha puesto a punto una metodología de análisis cinemático tridimensional mediante fotogrametría cine de alta velocidad. Esta metodología ha permitido registrar y estudiar los movimientos del lanzamiento de disco que se producen en los tres ejes del espacio.
4. Se han utilizado técnicas de filmación condiciones de competición permitiendo estudiar a los lanzadores en una situación que en principio aseguraba un estado de forma y un nivel de motivación máximo.
5. Se ha puesto a punto un método para el tratamiento estadístico de los resultados que ha permitido realizar un análisis descriptivo de las variables y la relación existente entre ellas.

5.2 CONCLUSIONES SOBRE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO Y SU DISCUSIÓN

Con relación al objetivo de *Identificar las variables de eficacia que definen la biomecánica del lanzamiento de disco* se ha llegado a las siguientes conclusiones:

6. Se han identificado las variables de eficacia biomecánicas que guardan relación con la técnica del lanzamiento de disco permitiendo la valoración de los aspectos técnicos.

Con relación al objetivo de *diseñar un cuadro que relacione los aspectos técnicos, utilizados por los técnicos deportivos en la mejora del rendimiento, con los indicadores de eficacia biomecánicos con el fin de establecer un nexo técnico deportivo – biomecánico que permita el aprovechamiento de los resultados* se ha llegado a las siguientes conclusiones:

7. El *Cuadro de Indicadores de Eficacia* del lanzamiento de disco muestra un formato novedoso de aportar información dado que vincula aspectos técnicos observables con variables biomecánicas cuantificables en un mismo marco.

8. El *Cuadro de Indicadores de Eficacia* ahonda en la comprensión de la técnica del lanzamiento de disco.
9. El *Cuadro de Indicadores de Eficacia* traza un camino que facilita la retroalimentación biomecánica con el objeto de incrementar el rendimiento en el lanzamiento de disco.
10. Los vínculos entre aspectos técnicos y variables biomecánicas presentes en el *Cuadro de Indicadores de Eficacia* ofrecen soluciones claras a problemas definidos.

Con relación a los objetivos de *analizar la biomecánica de la técnica de los mejores lanzadores y lanzadoras de disco de alto nivel españoles en competiciones nacionales e internacionales y clarificar la biomecánica que opera en la ejecución del lanzamiento de disco estableciendo relaciones entre las variables de eficacia* se ha llegado a las siguientes conclusiones:

11. Los valores medios, las desviaciones estándar y valores máximos y mínimos de los resultados de análisis de la técnica del lanzamiento de disco en categoría masculina y femenina han servido para completar el *Cuadro de Indicadores de Eficacia*.
12. Tanto en categoría masculina como en femenina, la *Fase de Vuelo* fue la de menor duración. Así lo expresó el porcentaje de tiempo más pequeño de esta fase respecto al tiempo total del lanzamiento.
13. En categoría femenina, el tiempo de la *Fase de Vuelo* jugó un papel importante en el grado de torsión logrado al finalizar esta fase. Así lo sugirió la asociación encontrada entre el tiempo de la *Fase de Vuelo* y el grado torsión al finalizar esta fase en el ángulo entre el eje de hombros y el eje de caderas y en el ángulo entre el miembro superior ejecutor y el eje de caderas.
14. La duración de la *Fase de Vuelo* y del grado de torsión entre el eje de hombros y el eje de caderas al finalizar ésta fue menor en categoría masculina, lo que supuso que las lanzadoras realizaron una *Fase de Vuelo* más larga y aprovecharon ese tiempo para lograr mayores grados de torsión.

15. Tanto los lanzadores como las lanzadoras cumplieron el principal objetivo de la *Fase de Vuelo* finalizándola con un grado de torsión considerable. Así lo mostró el alto porcentaje de torsión alcanzado en la *Fase de Vuelo* respecto al máximo logrado en la *Fase de Segundo Apoyo Simple*.
16. En categoría masculina y femenina, el grado de torsión al finalizar la *Fase de Vuelo* jugó un papel importante en el grado de torsión máximo logrado instantes después. Así lo sugirió la relación encontrada entre el valor al finalizar la *Fase de Vuelo* y el valor máximo del ángulo de torsión entre el eje de hombros y la línea de pies.
17. Aunque los técnicos deportivos recomiendan que la *Fase de Segundo Apoyo Simple* sea breve por considerarla una fase de transición al doble apoyo, tanto en categoría masculina como en femenina, la duración de ésta fue mayor que las Fases de *Vuelo* y de *Segundo Apoyo Doble*.
18. Aunque los lanzadores masculinos y femeninos intentaron ajustarse a la recomendación de apoyar el pie después de la *Fase de Vuelo* en el centro del círculo, cumplirla no fue una garantía de éxito en el lanzamiento de disco. Así lo demostraron los largos lanzamientos registrados con un rango de valores amplio en la distancia horizontal entre el apoyo y el centro del círculo.
19. Tanto los lanzadores como las lanzadoras no alzaron el disco a una altura considerable en la *Fase de Segundo Apoyo Simple* como se destaca en la técnica convencional. Así lo mostró la escasa diferencia de altura del disco entre la máxima lograda en la *Fase de Segundo Apoyo Simple* y la alcanzada en la liberación.
20. Para conducir el disco hacia la máxima altura en la *Fase de Segundo Apoyo Simple* fue importante realizar una mayor abducción desde el hombro del miembro superior portador del disco. Así lo sugirió en ambas categorías la asociación encontrada entre el ángulo de abducción del hombro y la altura máxima del disco.
21. Un aumento de la altura máxima del disco en la *Fase de Segundo Apoyo Simple* es necesario para obtener una velocidad vertical máxima del disco en la liberación. Así lo sugirió en ambas categorías la correlación entre la máxima

altura del disco y la componente vertical de la velocidad resultante del disco en la liberación.

22. En la *Fase de Segundo Apoyo Simple* ambas categorías alcanzaron el máximo valor del ángulo de torsión entre la línea del miembro superior ejecutor y la línea de pies lo que supuso que en esta fase los lanzadores y lanzadoras lograran la máxima torsión del sistema.
23. El lanzador logró la máxima torsión del sistema con una secuencia que se inició en la línea de pies, llevando el eje de caderas hacia atrás, continuó llevando el eje de hombros hacia atrás y finalizó llevando el miembro superior ejecutor hacia atrás. Así lo demostró la obtención correlativa de los valores máximos del ángulo entre el eje de caderas y la línea de pies, del ángulo entre el eje de hombros y la línea de pies y del ángulo entre el miembro superior ejecutor y la línea de pies.
24. En la *Fase de Segundo Apoyo Doble*, tanto los lanzadores como las lanzadoras ejecutaron sus movimientos explosivos finales con una distancia de pies amplia y abierta hacia a la dirección de lanzamiento. Esto produce el logro de mayores distancia oficiales tanto en categoría masculina como en femenina.
25. En la *Fase de Segundo Apoyo Simple* los lanzadores de ambas categorías descendieron el disco a su altura mínima, manteniendo una diferencia en el grado de flexión entre la pierna adelantada y la atrasada y reduciendo el ángulo de abducción del hombro del lado ejecutor.
26. Tanto en categoría masculina como en femenina, los ajustes hechos en el patrón articular de los miembros superiores e inferiores durante la *Fase de Segundo Apoyo Doble* facilitaron al disco estar en una posición baja. Esta posición permitió al disco aumentar su distancia vertical de aceleración hasta la liberación y como resultado aumentar su velocidad vertical en su liberación. Las relaciones encontradas entre las medidas de la altura del disco y de velocidad vertical en la liberación estuvieron en consonancia con lo expuesto anteriormente.
27. La velocidad absoluta del disco aumentó en la Fase de Segundo Apoyo Doble en ambas categorías siendo considerablemente mayor en esta fase que en las anteriores.

28. En ambas categorías, el ángulo de liberación del disco estuvo relacionado con las dos componentes de la velocidad resultante. Esta relación sugirió que las posibles modificaciones deberían realizarse en ambas componentes, puesto que el ángulo de liberación es un parámetro óptimo.
29. Los lanzadores de ambos sexos, con el propósito de lograr la máxima velocidad del disco en la liberación, emplearon un patrón consecutivo de aceleraciones y deceleraciones donde participaron los principales segmentos corporales de forma ascendente.
30. Tanto en categoría masculina como en femenina, de las variables de liberación la velocidad final del disco fue la más relacionada con la distancia oficial.
31. En general los lanzadores de ambos sexos supieron beneficiarse de las fuerzas aerodinámicas para incrementar las distancias lanzadas, dado que el valor medio de la distancia aerodinámica fue positivo.

Con relación a los objetivos de elaborar una base de datos que nos permita disponer de valores de referencia de atletas de alto nivel para su aplicación y uso en la mejora del rendimiento de otros lanzadores de disco se ha llegado a las siguientes conclusiones:

32. Se ha programado en *Microsoft Access* una base de datos denominada *Sistema de Información Biomecánica (SIB)* que ordena y facilita la consulta de los datos obtenidos en el estudio y que se hallan recogidos en el *Cuadro de Indicadores de Eficacia*.
33. Se ha programado en *Microsoft Excel* una hoja de cálculo denominada *SIBDisco* que prepara los datos de la digitalización provenientes de *Fotogram-IBV* para que estos puedan ser importados de forma correcta desde *SIB*.
34. Se ha programado en *MatLab* una rutina de cálculo denominada *BioDisc* que permite calcular las variables de eficacia del lanzamiento de disco a partir de datos exportados de *SIB* y cuyos resultados pueden ser importados desde *SIB*.

5.3 PROYECCIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

A partir de este trabajo queda abiertas líneas de investigación en el campo de la biomecánica del lanzamiento de disco, tales como:

35. Buscar vías para implicar a biomecánicos y técnicos deportivos en equipos interdisciplinarios ajustados a las necesidades de los deportistas de alto nivel y que proporcionen soluciones.
36. Buscar medidas que generen información comprensible para los técnicos deportivos.
37. Realizar estudios biomecánicos profundos de los aspectos técnicos observables en las dos primeras fases del movimiento para esclarecer los datos existentes en la literatura científica y cubrir deficiencias de conocimiento.
38. Realizar análisis cinéticos de las fuerzas generadas en los apoyos y su influencia en el rendimiento deportivo.
39. Desarrollar nuevas tecnologías que permitan obtener datos en tiempo real de las variables biomecánicas de eficacia para proporcionar una retroalimentación que resulte práctica para la mejora del rendimiento y el control del entrenamiento diario.

Bibliografía

6 BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Aziz, Y.I., y Karara H.M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close – range photogrammetry. En, *ASP Symposium on Close Range Photogrammetry*. Falls Church: American Society of Photogrammetry.
- Abdelmalek, E.H., Anderson, L., Boettcher, G., Gambetta, V., Jones, M., McGill, K., Paish, W., Tancred, B., Taylor, P., y Wirth, A. (1994). Discus. *New Studies in Athletics*, **9**, 17-40.
- Adrian, M.J. y Cooper, J.M. (1989). *Biomechanics of Human Movement*, 2nd edn. Madison: Brown & Benchmark.
- Alexander, R.Mc.N. (1991). Optimum timing of muscle activation for simple models of throwing. *Journal Theory of Biology*, **150**, 349-372.
- Alexander, R.Mc.N. (1992). *The Human Machine*. Londres: Natural History Museum Publications.
- Altmeyer, L., Bartonietz, K., y Krieger, D. (1994a). Technique and training: The discus throw. *Track and Field Quarterly Review*, **94**, 33-34.
- Altmeyer, L., Bartonietz, K., y Krieger, D. (1994b). The discus throw. *Track and Field Quarterly Review*, **94**, 35.
- Amundsen, G.B. (1987). Analysis of four world class discus throwers. *Track Technique*, **99**, 3159-3160, 3170.
- Arbeit, E., Bartonietz, K., y Hillebrand, L. (1987). Differences entre la technique de lancer du disque chez les hommes et chez les femmes. *Amicale des Entraîneurs Francais d'Athletisme*, **102**, 75-81.
- Bakarinov, J. (1990). Theoretical aspects of training control for highly qualified throwers. *New Studies in Athletics*, **1**, 7-15.
- Barclay, L. (1993). Some basic hints to young discus throwers. *Modern Athlete and Coach*, **31**, 24-25.

-
- Bartlett, R.M. (1990). The biomechanics of the discus throw: temporal considerations. En, *Sport and Science Conference*. Crystal Palace, Londres.
 - Bartlett, R.M. (1992). The biomechanics of the discus throw: A review. *Journal of Sports Sciences*, **10**, 467-510.
 - Bartlett, R.M. (1996). *Introduction to Sports Biomechanics*. Londres: E. & F.N. Spon.
 - Bartlett, R.M. (1999). *Sports Biomechanics: Reducing Injury and Improving Performance*. Londres: E. & F.N. Spon.
 - Bartlett, R.M. (2000a). Principles of throwing. En V.M. Zatsiorsky (ed.), *Biomechanics in Sport. Performance Enhancement and Injury Prevention* (pp. 365-380).
 - Bartlett, R.M. (2000b). Throwing: fundamentals and practical applications. En Y. Hong y D.P. Johns (eds.), *Proceedings of XVIII International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 869-872). Hong Kong: The Chinese University of Hong Kong.
 - Bartlett, R.M., Müller, E., Raschner, C., y Brunner, F. (1991). Pressure distributions on the planter surface of the foot during the discus throw. *Journal of Sports Sciences*, **9**, 394.
 - Bartlett, R.M., y Payton, C.J. (1991). Evaluating and reporting errors in biomechanical data and their possible effects. *Journal of Sports Sciences*, **9**, 393-394.
 - Barton, J., y Barton, G. (1992). 3D video digitizing and motion analysis. En, *10th Symposium of the International Society of Biomechanics in Sports* (pp. 112-115).
 - Bartonietz, K. (1984). Die aerodynamischen eigenschaften von speer und diskus besser nutzen. *Der Leichtathlet*, **7**, 7-10.
 - Bartonietz, K., Best, R.J., y Borgström, A. (1996). The throwing events at the World Championships in Athletics 1995, Göteborg – technique of the world's best athletes. Part 2: discus and javelin throw. *New Studies in Athletics*, **11**, 19-44.

- Bashian, A. (1998). Discus aerodynamics and the price of no reverse. *Thrower*, **78**, 4-8.
- Bergeron, J. (2000). Technique and rhythm in the throws. *Track Coach*, **153**, 4884-4886, 4893.
- Bernstein, N.A. (1967). *The coordination and regulation of movements*. Pergamom Press LTD.
- Bosen, K.O. (1981). Variations in throwing techniques. *Track and Field Quarterly Review*, **81**, 5-6.
- Bosen, K.A. (1985). Coaching discus throwing technique. *Track and Field Quarterly Review*, **85**, 26-28.
- Bottcher, G. (1993). East German technical model for the discus. *Thrower*, **60**, 4-9.
- Bowerman W.J. (1990). The discus Throw. En, *High-Performance Training for Track and Field* (pp. 181-188) Champaign: Human Kinetics
- Buhantsov, K., y Papanov, V. (1988). Romas Ubartas and Georgi Kolnootchenko throw the discus. *Soviet Sports Review*, **23**, 23-25.
- Burke, S. (1988). Shot put and discus throw. *Track and Field Quarterly Review*, **88**, 25-29.
- Bush, J., y Weiskopf, D. (1980). The discus. *Athletic Journal*, **60**, 44-48, 72-74.
- Carr, G.A. (1979a). A phase method for teaching the discus. *Track Technique*, **76**, 2417-2420.
- Carr, G.A. (1979b). A phase method for teaching the discus – II. *Track Technique*, **77**, 2461.
- Carr, G.A. (1999). Discus. En, *Fundamentals of Track and Field* (pp. 217-235). Champaign: Human Kinetics
- Cappos, S. (2000). Developing discus technique. *Track Coach*, **151**, 4814-4816.

-
- Challis, J.H. (1995). A multiphase calibration procedure for the Direct Linear Transformation. *Journal of Biomechanics*, **11**, 351-358.
 - Challis, J.H., y Kervin, D.G. (1992). Accuracy assessment and control point configuration when using the DLT for photogrammetry. *Journal of Biomechanics*, **25**, 1053-1058.
 - Chandler, R.F., Clauser, C.E., McConville, J.T., Reynolds, H.M., y Young, J.W. (1975). *Investigation of the inertial properties of the human body*. Technical report AMRL-TR-74-137, AD-A016-485, DOT-HS-801-430. Ohio: Aerospace Medical research Laboratories, Wright-Patterson Air Force Base.
 - Chen, L., Armstrong, C.W., y Raftopoulos, D.D. (1994). An investigation on the accuracy of three dimensional space reconstruction using the direct linear transformation technique. *Journal of Biomechanics*, **27**, 493-500.
 - Clauser, C.E., McConville J.T., y Young, J.W. (1969). *Weight, volume and centre of mass of segments of the human body*. Technical report no. AMRL-TDR.69-70. Ohio Wright-Patterson Air Force Base.
 - Cooper, L., Dalzell, D., y Silverman, E. (1959). *Flight of the Discus*. Division of Engineering Science, Purdue University.
 - Daniel, D., Chabrier, M., Guerin, G., Tranchant, M., y Vandewale, H. (2000). Analyse globale du geste du lanceur de disque: approche cinématique. *Revue de l'A.E.F.A*, **161**, 29-30.
 - Dapena, J. (1993). New insights on discus throwing. *Track Technique*, **125**, 3977-3983.
 - Dapena, J. (1994a). An analysis of angular momentum in the discus throw. *Journal of Biomechanics*, **27**, 660.
 - Dapena, J. (1994b). New insights on discus throwing: a response to Jan Vrabel's comments. *Track Technique*, **129**, 4116-4119.

- Dapena, J. (1997). A mechanical interpretation of discus throwing technique. En, *Fourth IOC world congress on sport sciences 22-25 October 1997, Principality of Monaco* (p. 137). Lausanne: International Olympic Committee.
- Dapena, J., y Anderst, W.J. (1997). Discus throw #1 (Men). En, *Report for Scientific Services Project (USATF)*. Indianapolis: USA Track & Field.
- Dapena, J., LeBlanc, M.K., y Anderst, W.J. (1997). Discus throw #2 (Women). En, *Report for Scientific Services Project (USATF)*. Indianapolis: USA Track & Field.
- Dempster, W.T. (1955). *Space requirements of the seated operator*. Technical report WADC-TR-55-159. Ohio: Wright-Patterson Air Force Base.
- Drillis, R.J., y Contini, R. (1966). *Body segment parameters*. Report no. PB 174 945, TR 1166.03. New York: School of Engineering and Science, New York University.
- Dunn, G. (1969). Common errors in the discus. *Athletic Journal*, **49**, 52.
- Dyson, G.H.G. (1978). Lanzamientos. En, *Mecánica del Atletismo* (pp. 189-211). Madrid: Instituto Nacional de Educación Física.
- Ecker, T. (1978). Mac Wilkins: Olympic discus thrower. *Athletic Journal*, **58**, 60-61.
- Ecker, T. (1996). Discus throwing. En, *Basic Track & Field Biomechanics (2nd edition)* (pp. 134-141). Mountain View, CA: Tafnews Press.
- Ferro, A. (1996). Material y métodos. En, *Análisis Biomecánico de la Técnica de la Carrera en Deportistas Ciegos Paralímpicos* (pp. 129-240). Tesis Doctoral. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.
- Ferro, A. (2001). *La Carrera de Velocidad. Metodología del Análisis Biomecánico*. Madrid: Estaban Sanz.
- Ferro, A., Floría, P., Ferrerueta, M., y García-Fogeda, A. (2004). Longitudinal biomechanical análisis of individual athletes evolution of the distance of discus throw. En E. Van Praagh y J. Coudert (eds.), *Book of Abstracts of 9th Annual*

Congress European College of Sport Science (p. 340). Clermont Ferrand: Université Blaise Pascal.

- Ferro, A., García-Fogeda, A., Valios, J.C., Blanco, M. y Graupera, J.L. (1998). Metodología y modelo de actuación en el proyecto de lanzamiento de disco. En X. Aguado (ed.), *Biomecánica Aplicada al Deporte I*. León: Universidad de León.
- Ferro, A., Rivero, A., García-Fogeda, A., Pagola, I. y Valios, J.C. (1999). Influencia del cambio de peso en la técnica individual de lanzamiento. *Investigaciones en Ciencias del Deporte*, **22**, 25-36.
- Frohlich, C. (1981). Aerodynamic effects on discus flight. *American Journal of Physics*, **49**, 1125-1132.
- Frohlich, C. (1992). Aerodynamic effects on discus flight. En A. Armenti y Jr. Villanova (eds.), *The Physics of Sports*. New York: American Institute by Physics.
- Gambetta, V., Lopez, V., y Alford, J. (1988). NSA round table. *New Studies in Athletics*, **1**, 21-25.
- Ganslen, R.V. (1958). *Aerodynamic Factors Which Influence Discus Flight*. Research -report, University of Arkansas.
- Gordien, F. (1973). Stress "Technique" in the discus. *Scholastic Coach*, **42**, 26; 28.
- Grande, I. (2000). *Cinématica del Modelo Técnico Individual del Lanzamiento de Peso*. Tesis Doctoral. León: Universidad de León.
- Gregor, R.V., Whiting, W.C., y McCoy, RW. (1985). Kinematic analysis of Olympic discus throws. *International Journal of Sport Biomechanics*, **1**, 131-138.
- Grigalka, O. (1977). Mac Wilkins throws the discus. *Yessis Review*, **12**, 39-42.
- Grigalka, O. (1979). Attention: error in the discus throw. *Soviet Sports Review*, **14**, 96-97.
- Grigalka, O., y Papanov, V. (1979). Wolfgang Schmidt throws the discus. *Soviet Sports Review*, **14**, 37-40.

-
- Grosser, M., Brüggerman, P., y Zintl, F. (1989). *Alto Rendimiento Deportivo*. Barcelona: Martínez Roca.
 - Hainaut, K. (1976). *Introducción a la Biomecánica*. Barcelona: Jims.
 - Hanavan, E.P. (1964). *A mathematical model of the human body*. Report no. AMRL-TR-64-102, AD-608-463. Ohio: Aerospace Medical Research Laboratories, Wright-Patterson Air Force Base.
 - Hay, J.G. (1987). Biomechanics of the long jump – and some wider implications. En B. Jonsson (ed.), *Biomechanics X-B* (pp. 1193-1203). Champaign, IL: Human Kinetics
 - Hay, J.G. (1993). Discus throw. En, *The Biomechanics of Sports Techniques* (pp. 481-495). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
 - Hay, J.G. y Reid, J.G. (1988). *Anatomy, Mechanics, and Human Motion*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
 - Hay, J.G., y Yu, B. (1995a). Critical characteristics of techniques in throwing the discus. *Journal of Sports Sciences*, **13**, 125-140.
 - Hay, J.G., y Yu, B. (1995b). Free-leg action in throwing the discus. *Track Coach*, **134**, 4265-4268.
 - Hay, J.G., y Yu, B. (1996). Weight shift and foot placement in throwing the discus. *Track Coach*, **135**, 4297-4300.
 - Hazte, H. (1990). Date conditioning and differentiation techniques. En N. Berme y A. Cappozzo, A. (eds.), *Biomechanics of Human Movement; Applications in Rehabilitation, Sports and Ergonomics* (pp. 237-248). Worthington, Ohio: Bertec Corporation.
 - Hillebrand, L., Arbeit, E., y Bartonietz, K. (1984). Diferencias entre el hombre y la mujer en el lanzamiento de disco. En J. Bravo (ed.), *Cuadernos de Atletismo nº 17*. Madrid: Federación Española de Atletismo.
 - Hofmann, S. (1990). Methodologische abteilungen techniktraining in diskuswurfen aus biomechanischen untersuchungen. En G.P. Brüggemann y J.K. Rühl (eds.),

Proceedings of the First International Conference on Techniques in Athletics (pp. 695-702). Colonia: Deutsche Sporthochschule.

- Hommel, H. (1994). NSA photosequence 31 – discus throw: Jürgen Schult. *New Studies in Athletics*, **9**, 83-90.
- Hubbard, M. (1989). The throwing events in track and field. En C.L. Vaughan (ed.) *The Biomechanics of Sport* (pp. 213-238). Boca Raton: CRC Press.
- Instituto Científico Superior de Cultura Física de la URSS (1970). Final effort technique in the discus throw. *Yessis Review of Soviet Physical Education and Sports*, **5**.
- Irving, S. (1980). The shift and settle in the discus. *Athletic Journal*, **60**, 38; 64.
- Jensen, R.K., y Fletcher, P. (1994). Distribution of mass to the segments of elderly males and females. *Journal of Biomechanics*, **27**, 89-96.
- Johnson, C. (1981). The right leg action and how to coach it in shot and discus. *Track and Field Quarterly Review*, **81**, 19.
- Johnson, C. (1985). Reappraise discus throwing. *The Thrower*, **December**, 14-16.
- Jones, M. (1991). Technique analysis of discus thrower, Ilke Wyludda. *Athletics Coach*, **25**, 13-15.
- Jones, M. (1993). Photosequence analysis – Jürgen Schult (Germany). *Athletics Coach*, **27**, 30;32.
- Jones, M. 1995). Discus sequence analysis. *Athletics Coach*, **29**, 16-19.
- Judge, L. (1997). Putting whip on the discus. *Thrower*, **74**, 9-15.
- Kapandji, I. (1990). *Cuadernos de Fisiología Articular*. Barcelona: Toray – Masson.
- Kemp, M. (1988). Some aspects of the discus throw. *Modern Athlete and Coach*, **26**, 11-14.

-
- Kenneson, J. (1985). Practical considerations in the shot put and discus. *Track and Field Quarterly Review*, **85**, 19-25.
 - Kline, D.E. (2003). Throwing events. En M. Guthrie (ed.), *Coaching Track & Field Successfully* (pp. 163-190). Champaign: Human Kinetics
 - Knicker, A. (1990). Determining factors in discus throwing of top level athletes. En G.P. Brüggemann y J.K. Rühl (eds.), *Proceedings First International Conference on Techniques in Athletics* (pp. 670-677). Colonia: Deutsche Sporthochschule.
 - Knicker, A. (1992). Kinematic characteristics of the discus throw. *Modern Athlete and Coach*, **30**, 3-6.
 - Knicker, A. (1994a). Kinematic analyses of the discus throwing competition at the IAAF World Championships in Athletics, Stuttgart 1993. *New Studies in Athletics*, **9**, 9-16.
 - Knicker, A. (1994b). Kinematic analyses of the discus throwing competitions at the World Athletics Championships 1993 in Stuttgart. En A. Barabas y G. Fabian (eds.), *Proceedings of the 12th International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 363-370). Budapest: Hungarian University of Physical Education.
 - Knicker, A. (1999). Biomechanical analysis of the throwing events. Discus throw. En G.P. Brüggemann, D. Koszewski y H. Müller (eds.), *Biomechanical Research Project Athens 1997. Final Report* (pp. 161-175). Oxford: Meyer & Meyer Sport.
 - Knowles, D. (1997). Discus fundamentals. *Modern Athlete and Coach*, **35**, 34-39.
 - Knowles, D. (1999). The main technical aspects for a long discus throw. *Modern Athlete and Coach*, **37**, 16-18.
 - Knudson, D.V. y Morris, C.S. (2002). Role of models in qualitative analysis. En *Qualitative Analysis of Human Movement* (pp.15-38). Champaign, IL: Human Kinetics.
 - Kreighbaum, E. y Barthels, K.M. (1999). *Biomechanics. A Qualitative Approach for Studying Human Movement*, 4th edn. Needham Heights, MA: Allyn and Bacon.

-
- LeBlanc, M. y Dapena, J. (2002). Optimal system values for producing a large velocity of the distal endpoint during flail-like motion. *Journal of Applied Biomechanics*, **18**, 278-286.
 - Leva, P. de. (1993). Validity and accuracy of four methods for locating centre of mass young male and female athletes. En S. Bouisset, S.Y. Métral, y H. Monod (eds.), *Abstracts of XIVth Congress the International Society of Biomechanics*, (pp. 318-319). París: Universidad París – Sur.
 - Leva, P. de. (1996). Adjustments to Zatsiorsky – Seluyanov’s segment inertia parameter. *Journal of Biomechanics*, **29**, 1223-1230.
 - Lindsay, M. (1991). Biomechanical analysis of the discus. En R.M. Bartlett (ed.), *Report on the 1990 AAA/WAAA National Championships, Vol. 1: The Throws*. Alsager: Crew & Alsager College Higher Education.
 - Lindsay, M. (1993). Breaking down the throw. *Athletics Weekly*, **5**, 59.
 - Linthorne, N.P. (2001). Optimum release angle in the shot put. *Journal of Sports Sciences*, **19**, 359-372.
 - Luttgens, K., Deutsch, H. y Hamilton, N. (1992). *Kinesiology: Scientific of Human Motion*, 8th edn. Madison: Brown y Benchmark.
 - Luttgens, K. y Wells, K. (1985). *Kinesiología. Bases Científicas del Movimiento Humano*. Madrid: Augusto E. Pila Teleña.
 - Maheras, A. (1992). Physiological and mechanical principles of discus throwing. *Track and Field Quarterly Review*, **92**, 32-41.
 - Maronski, R. (1991). Optimal distance from the implement to the axis of rotation in hammer and discus throws. *Journal of Biomechanics*, **24**, 999-1005.
 - Martínez, J.L. (1993). Lanzamiento de disco. En J. Bravo (ed.), *Atletismo III* (pp. 104-155). Madrid: Comité Olímpico Español.
 - McConville, J.T., Churchill, T.D., Kaleps, I., Clauser, C.E., y Cuzzi, J. (1980). *Anthropometric relationships of body and body segment moments of inertia*.

Report no. AFAMRL-TR-80-119. Ohio: Aerospace Medical Research Laboratories, Wright-Patterson Air Force Base.

- McCoy, R.W., Whiting M.W.C., Rich, R.G., y Gregor, R.J. (1985). Kinematic analysis of discus throwers. *Track Technique*, **91**, 2902-2905.
- McEachran, R. (1988). Fundamentals of discus throwing. *Track and Field Quarterly Review*, **88**, 33-34.
- McGill, K. (1983). Analysis chart for discus. *Track and Field Quarterly Review*, **83**, 23
- Mendoza, L. y Schöllhorn, W. (1990). Technical training in the field of high performance athletes with a biomechanical feed back system. En G.P. Brüggemann y J.K. Rühl (eds.), *Proceedings of the First International Conference on Techniques in Athletics* (pp. 690-694). Colonia: Deutsche Sporthochschule.
- Mendoza, L. y Schöllhorn, W. (1991). Die ansteuerung räumlicher merkmale der diskuswurftechnik im hochleistungsbereich mit hilfe eines biomechanischen schnellinformationssystems. *Leistungssport*, **3**, 18-22.
- Miller, K.D. (1976). Discus throw for women. *Athletic Journal*, **56**, 34-35.
- Mirabelli, M. (1999). Discus champion. *Track and Field Coaches Review*, **72**, 31-33.
- Miyanishi, T. y Sakurai, S. (2000). Angular momentum analysis of men's discus throwers in 1998 USA Track & Field Championships. En Y. Hong y D.P. Johns (eds.), *Proceedings of XVIII International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 806-809). Hong Kong: The Chinese University of Hong Kong.
- Morris, F. (1973a). Common errors in the discus –and what to do about them. *Scholastic Coach*, **42**, 24; 103.
- Morris, F. (1973b). Form study of Ricky Bruch, Sweden, Discus record holder, 225-0. *Scholastic Coach*, **42**, 14-15; 117.
- Morris, F. (1973c). Mechanics of the discus. *Scholastic Coach*, **42**, 59-60; 99.

-
- Morris, F. (1981). The Wilkins style of discus throwing. *Track and Field Quarterly Review*, **81**, 22-27.
 - Mulloy, D. (1988). Discus. *Track and Field Quarterly Review*, **88**, 31-32.
 - Neighbour, B.R. (1998). Understanding the flight of the discus. *Modern Athlete and Coach*, **36**, 32-35.
 - Neighbour, B.R. (1999a). Controlling the flight of the discus. Part 1. *Modern Athlete and Coach*, **37**, 3-9.
 - Neighbour, B.R. (1999b). Controlling the flight of the discus. Part 2. *Modern Athlete and Coach*, **37**, 13-16.
 - Nigg, B.M. (1999). En B.M. Nigg y W. Herzog (eds.), *Biomechanics of the Musculo – Skeletal System, 2nd Edition*. West Sussex: John Wiley and Sons.
 - Paulsen, R. (1987). A technical primer for the discus thrower: move from slow to fast early across the ring. *Scholastic Coach*, **56**, 22-24; 91.
 - Penzikov, V. (1991). Ellina Zvereva throws the discus. *Soviet Sports Review*, **26**, 24-25.
 - Poprawski, B. (1988). The ABC's of throwing: David vs. Goliath. *Athletics*, **August**, 40-41.
 - Powell, J. (1975). John Powell on the discus. *Track Technique*, **59**, 1875-1876.
 - Pozzo, R., Baumann, W., Schwirtz, A., Locatelli, E., y Bosco, C. (1988). Biomeccanica del lancio del disco. *Rivista di Cultura Sportiva*, **7**, 71-77.
 - Probst, J. (2000). The importance of the right leg in discus throwing. *Modern Athlete and Coach*, **38**, 33-36.
 - Ratov, I.P., Boiko, E.S., Byvshev, O.V., y Popov, G.I. (1978). Rhythm and velocity characteristics of movements and their changes in discus throwing under specially created conditions. En E. Asmussen y K. Jorgensen (eds.), *Biomechanics VI-B* (pp. 61-63). Baltimore: University Park Press.

- Ruderman, G. (2000). A fast arm and advantage or shortcoming? *Modern Athlete and Coach*, **38**, 33-34.
- Ruderman, G. (2002). Development of throwers. *Modern Athlete and Coach*, **40**, 15-19.
- Sanders, R. y Wilson, B. (1989). Some biomechanical tips for better teaching and coaching. Part 1. *New Zealand Journal of Health, Physical Education and Recreation*, **23**(4), 14-15.
- Sanders, R. y Wilson, B. (1990a). Some biomechanical tips for better teaching and coaching. Part 2. *New Zealand Journal of Health, Physical Education and Recreation*, **24**(1), 16-17.
- Sanders, R. y Wilson, B. (1990b). Some biomechanical tips for better teaching and coaching. Part 3. *New Zealand Journal of Health, Physical Education and Recreation*, **24**(2), 19-21.
- Schiffer, J. (2003). Discus throw. *New Studies in Athletics*, **18**, 83-128.
- Schlüter, W., y Nixdorf, E. (1984). Kinematische Beschreibung und Analyse der Diskuswurftechnik. *Leistungssport*, **14**, 17-22.
- Schöllhorn, W. (1989). Diskuswurf. En K. Willimczik (ed.), *Biomechanik der Sportarten* (pp. 212-219). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag.
- Schöllhorn, W. (1994). Änderungen biomechanischer Bewegungsmuster in diskuswurf. *Leistungssport*, **3**, 45-49.
- Schwartz, G.K. (1982). Fundamentals of discus throwing. *Track and Field Quarterly Review*, **82**, 14-16.
- Schwartz, G. (1983). Two major obstacles to effective discus throwing. *Track and Field Quarterly Review*, **83**, 24.
- Shannon, K. (1988). Fundamentals for the throws. *Track and Field Quarterly Review*, **88**, 13-14.

-
- Silvester, L.J. (1988). Discus throwing. *Track and Field Quarterly Review*, **88**, 30-31.
 - Silvester, L.J. (2003). Discus. En, *Complete Book of Throws* (pp. 65-98). Champaign: Human Kinetics.
 - Silvester, L.J., y McCoy, R. (1995), Paths of the discus: a comparison of elite and junior elite discus throwers. *Track Coach*, **133**, 4238-4243.
 - Soto, V.M. (1995). *Desarrollo de un sistema para el análisis biomecánico tridimensional del deporte y la representación gráfica realista del cuerpo humano*. Tesis Doctoral. Granada: Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.
 - Soong, T.C. (1976). The dynamics of discus throw. *Journal of Applied Mechanics*, **98**, 531-536.
 - Soudek, E.H. (1984). John Powell's classic discus style: the thrower gets acceleration across the circle by continuously pivoting the feet, knees, and hips. *Scholastic Coach*, **53**, 38-40; 67.
 - Steben, R.E. (1986). Brian Blutreich's discus form & training regimen. The premium is on spin and delivery mechanics rather than linear action. *Scholastic Coach*, **55**, 26-28; 67.
 - Stepanek, J. (1986). Discus throw. En P. Susanka, P. Brüggemann y E. Tsarouchas (eds.), *Scientific Report on the 1st World Junior Championship in Athletics, Athens 1986* (pp. J/1-11). International Amateur Athletic Federation.
 - Stepanek, J., y Susanka, P. (1987). Discus throw: results of a biomechanics study. *New Studies in Athletics*, **1**, 25-36.
 - Sueyoshi, Y., y Maruyama, A. (1992). Optimal release angle on discus throw through computer simulation. *Journal of Biomechanics*, **24**, 717
 - Susanka, P., Dumbrovsky, M., Barak, F., Stepanek, J., y Nosek, M. (1988). Biomechanical analysis of the discus throw. En G.P. Brüggemann y P. Susanka

(eds.), *Scientific Report on the Second World Championship in Athletics, Rome 1987* (pp. 1/1-61). International Amateur Athletic Federation.

- Taylor, J.A. (1932). Behaviour of the discus in flight. *Athletic Journal*, **12**, 9.
- Terauds, J. (1978). Computerised biomechanical cinematography analysis of discus throwing at the 1976 Montreal Olympiad. *Track and Field Quarterly Review*, **78**, 25-28.
- Thieurmél, M. (1987). Commentaire du kinogramme de Schmidt. *Amicale des Entraîneurs Français d'Athlétisme*, **102**, 100-103.
- Tidow, G. (1994). Model technique analysis sheets part IX: the discus throw. *New Studies in Athletics*, **9**, 47-68.
- Tidow, G. (1995). A comparison of fixed feet and active reverse delivery of the discus. *Thrower*, **68**, 10-14.
- Tortosa, B. (1987). *Análisis Cinemático Tridimensional de Imágenes Captadas por dos Cámaras Cinematográficas*. Valencia: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (proyecto fin de carrera no publicado).
- Unger, J. (1978). Throwing in the wind. *Track Technique*, **71**, 2269.
- Vigars, R. (1979). Analysis of critical factors in the throws. *Track Technique*, **77**, 2447-2449.
- Vrabel, J. (1987). Problemes techniques des lanceurs de disque de haut niveau. *Amicale des Entraîneurs Français d'Athlétisme*, **102**, 91-101.
- Vrabel, J. (1994). Are Dapena's insights on discus throwing correct?. *Track Technique*, **129**, 414-4115.
- Ward, P. (1969). Analysis of the discus throw. *Track Technique*, **37**, 1176-1183.
- Waters, J.V. (1994). Critiquing the discus throw. Every thrower is provided with a complete checklist for individual critiquing. *Scholastic Coach*, **63**, 84-85.
- Webb, B. (1976). A Neu look at the discus. *Athletic Journal*, **56**, 68-70.

-
- Webb, B. (1985). Basic principles related to the throws. *Track and Field Quarterly Review*, **85**, 5-6.
 - Whitsett, C.E. (1963). *Some dynamic response characteristics of weightless man*. Report no. AMRL-TDR-63-18, AD-412-541. Ohio: Aerospace Medical Research Laboratories, Wright-Patterson Air Force Base.
 - Wilkins, M. (1987a). Exercices éducatifs techniques pour le lancer du disque. *Amicale des Entraîneurs Français d'Athlétisme*, **102**, 83-89.
 - Wilkins, M. (1987b). Technique conditioning drills for discus throw. *Track and Field Quarterly Review*, **87**, 20-23.
 - Wilt, F. (1983). Form analysis of the world record-holder in the discus. *Scholastic Coach*, **52**, 30-31; 58; 61.
 - Winter, D.A. (1990). *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. Canada: A Wiley – Interscience Publication.
 - Woicik, M. (1983). The discus throw. *Track and Field Quarterly Review*, **83**, 19-22.
 - Woltring, H.J. (1985). On optimal smoothing and derivate estimation from noisy displacement data in biomechanics. *Human Movement Science*, **4**, 229-245.
 - Woltring, H.J. (1985). A Fortran package for generalized cross valedictory spline smoothing and differentiation. *Advanced Engineering Software*, **8**, 104-107.
 - Woltring, H.J. (1985). Smoothing and differentiation techniques applied to 3D data. En P. Allard, I.A.F. Stokes y J.P.E. Blanchy (eds.), *Three Dimensional Analysis of Movements*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
 - Wood, G.A., y Marshall, R.N. (1986). The accuracy of DLT extrapolation in three – dimensional film analysis. *Journal of Biomechanics*, **23**, 59-66.
 - Xie, W. (2000). Application of filming and motion analysis in movement studies. En Y. Hong (ed.), *Proceedings of XVIII International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 785-791). Hong Kong: Department of Sports Science and Physical Education. The Chinese University of Hong Kong.

- Yeadon, M.R. (1990). The simulation of aerial movement-I. The determination of orientation angles from film data. *Journal of Biomechanics*, **19**, 781-785
- Young, D.C. (2004). Athletic events. En, *A Brief History of the Olympics* (pp. 24-37). Oxford: Blackwell Publishing
- Yu, B., Broker, J., y Silvester, L.J. (2002). A kinetic analysis of discus-throwing techniques. *Sports Biomechanics*, **1**, 25-46
- Zatsiorsky, V.M. (1990). In vivo segment inertial parameters determination using a gamma-scanner method. En N. Berme y A. Cappozzo (eds.), *Biomechanics of human movement: applications in rehabilitation, sports and ergonomics* (pp. 186-202). Worthington, Ohio: Bertec Corporation.
- Zatsiorsky, V.M., y Seluyanov, V.N. (1985). Estimation of the mass and inertia characteristics of human body by means of the best predictive regression equations. En D.A. Winter, R.W. Norman, R.P. Wells, K.C. Hayes, y A.E. Patla (eds.), *Biomechanics IX-B* (pp. 233-239). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Zody, C. (1976). Teaching the discus throw. *Track technique*, **65**, 2058-2060.